COMUNE DI SIRACUSA

VISTI DI APPROVAZIONE

COMMITTENTE:

S.P.E.R.O. s.r.l.

Via Elorina 29 - 96100 Siracusa - Italy

PROGETTISTA GENERALE

TEAMNETWORK s.r.l. - Engineering & Management

Via Luigi Spagna 50/L-M, 96100 Siracusa - Italy

TITOLO PROGETTO:

Approdo e Facilities collegate per la qualificazione funzionale dello specchio di mare antistante l'ex area industriale S.P.E.R.O.

(richiesta di concessione demaniale marittima ex DPR 509 del 02/12/1997, recepito e coordinato con l'art. 75 della L.R. n.4 del 16/04/2003)

PROGETTO DEFINITIVO

(Adeguato ai contenuti progettuali approvati nella CdS del 15.02.2021)

TITOLO ELABORATO:

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

Scala	Formato __

FILE
IMM12-08-MdS-PD-Rel-Amb.50-150-R0

PROGETTISTA

Progettista architettonico:
Arch. Mario Rizza

Progettista strutture ed impianti:
Ing. Paolo Calafiore

Studi Ambientali:
Dott. Gualtiero Bellomo
Dott.ssa Marino Maria Antonietta
Ing. Mauro Alaimo

NUMERO DOCUMENTO

IMM12-08	MdS	PD	Rel	Amb.50	150	R0	
JOB N.	COD.1	COD.2	COD. 3	COD. 4	COD. 5	REV. n.	

0	24-10-2024	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	M.A.	G.B.	G.V.
N.REV	DATA	DESCRIZIONE	DRW.	CHK.	APP.

REGIONE SICILIA

COMUNE DI SIRACUSA

PROGETTO DEFINITIVO "APPRODO E FACILITIES COLLEGATE PER LA QUALIFICAZIONE FUNZIONALE DELLO SPECCHIO DI MARE ANTISTANTE L'EX AREA INDUSTRIALE S.P.E.R.O."

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

IL DIRETTORE TECNICO — **DR.SSA MARINO MARIA ANTONIETTA**

IL REDATTORE — **ING. MAURO ALAIMO**

IL DIRETTORE TECNICO
Dr.ssa Marino Maria Antonietta

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PALERMO
DOTT. ING. MAURO ALAIMO
Sez. A
Settori civile e ambientale industriale e dell'informazione
n° 8367

INDICE

1 PREMESSA 1

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO 2

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 5

4 STUDIO IDROLOGICO 13

4.1 CONTENUTI E METODOLOGIA DELLO STUDIO IDROLOGICO 13

4.2 STRUMENTI E PROCEDURE PER L'ANALISI MORFOMETRICA E IDROGRAFICA DEI BACINI 14

4.3 INDIVIDUAZIONE DEI BACINI E DEI RELATIVI PARAMETRI MORFOMETRICI 17

4.4 TEMPO DI RITORNO E PIOGGIA CRITICA 19

4.5 INDICAZIONI DEL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO 20

4.6 IETOGRAMMA DI PROGETTO 24

4.6.1 Rapporto sulla curva di pioggia CPP Tr 50 anni: 26

4.6.2 Rapporto sulla curva di pioggia CPP Tr 100 anni: 28

4.6.3 Rapporto sulla curva di pioggia CPP Tr 300 anni: 30

5 STUDIO IDRAULICO 37

5.1 IMPOSTAZIONE DELLO STUDIO IDRAULICO PER L'AGGIORNAMENTO DEL P.A.I. 37

5.2 IL MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO 38

5.2.1 Geometria delle aree di simulazione 39

5.2.2 Coefficienti di scabrezza 39

5.2.3 Condizioni al contorno 39

5.2.4 Passo temporale 40

5.2.5 Durata della simulazione ed equazioni utilizzate 40

5.2.6 Presentazione risultati della simulazione 40

5.2.7 Individuazione del dominio idraulico in studio 42

5.3 MODELLAZIONI IDRAULICHE EFFETTUATE 43

5.3.1 Modellazione idraulica su base DTM 43

5.3.2 Dettaglio lotto oggetto dello studio 46

6 CONCLUSIONI 48

1 PREMESSA

Il sottoscritto ing. Mauro Alaimo ha ricevuto, dalla società Vamirgeoind s.r.l. con sede legale in Via Tevere n. 9 Palermo, l'incarico di redigere la presente Relazione Idrologico-Idraulica nell'ambito del progetto indicato in epigrafe.

La presente relazione tecnica illustrativa, redatta in ottemperanza alle indicazioni contenute nelle Norme di attuazione 2021 del P.A.I., riferisce sullo studio idraulico sviluppato per la valutazione degli elementi richiesti ai fini della completa caratterizzazione delle aree in studio sotto l'aspetto della vulnerabilità idraulica, definendo quindi estensione e magnitudo delle esondazioni eventualmente risultanti dalla modellazione idraulica.

Nei successivi paragrafi è descritto lo studio eseguito (art. 7 appendice A), ai fini dell'aggiornamento del PAI, nell'ipotesi che il presente studio idraulico, appositamente sviluppato con i criteri richiesti per il superamento dell'attuale definizione del sito di attenzione, esiti in una valutazione della estensione delle aree effettivamente soggette a pericolosità idraulica da esondazione favorevole;

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

L'incarico di redazione del presente studio di compatibilità idraulica è stato svolto nel pieno rispetto della normativa di settore. In particolare, sono state osservate tutte le indicazioni contenute nelle norme di seguito elencate.

- Regio Decreto 25 luglio 1904 n. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Legge 18 maggio 1989 n. 183 e ss. mm. ii., recante "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- D. L. 11 giugno 1998 n. 180 recante "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania";
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 29 settembre 1998, recante "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180";
- D.L.gs.vo 23 febbraio 2010 n. 49 recante "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni";
- D.P.R.S. 18 febbraio 2016 n. 47 di adozione del Progetto di Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Regione Siciliana;
- D. Lgs.vo 18 aprile 2016 n. 50 (Codice dei contratti pubblici) e ss. mm. ii., recante "Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori de1l"acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture";
- D.P.R. 5 ottobre 2010 n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006 n. 163 recante "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE", per le parti ancora in vigore ai sensi dell'art. 216 del D.Lgs.vo n. 50/2016";
- Piano di Assetto ldrogeologico della Sicilia (P.A.I.), con particolare riferimento a quanto previsto nell'art. 13 del Cap. 11 "Norme di attuazione" della Relazione generale del P.A.I., così come aggiornata con Decreto del Presidente della Regione Siciliana del 6 maggio 2021;
- Legge Regionale n. 19 del 13/08/2020 e ss. mm. ii., recante "Norme per il governo del territorio";

- D.A. 7 luglio 2021 n. 116 dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente, di approvazione delle "Linee guida per la redazione del Piano Urbanistico Generale comunale, di cui all'art. 25, comma 7, della L. R. 13 agosto 2020, n. 19;
- D.A. 7 luglio 2021 n. 117 dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente, che disciplina lo studio di compatibilità idraulica (invarianza idraulica e idrologica), di cui all'art. 22, comma 6, lett. d) della L. R. 13 agosto 2020, n. 19;
- D.Lgs.vo 9 aprile 2008 n. 81 recante "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007 n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro".

Il presente studio è stato redatto in conformità a quanto indicato nel Decreto del Presidente della Regione Siciliana n. 09/AdB del 06/05/2021, con il quale (articolo 1) *«Sono approvate le modifiche alla Relazione Generale - Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – redatta nel 2004, di seguito "Relazione Generale"»*.

In particolare, il riferimento è costituito dal "Capitolo 11 - Norme di attuazione" della Relazione Generale del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del 2021, che all'articolo 7 definisce in dettaglio le procedure di aggiornamento e revisione promosse da soggetti pubblici o privati, rimandando alla "Appendice A - Documentazione per le procedure di aggiornamento del PAI" per quanto riguarda articolazione e contenuti dello studio idrologico-idraulico che è necessario produrre.

La presente richiesta di aggiornamento del PAI relativamente al sito di attenzione "Pantanelli" CTR 1:10.000 646120 - si inquadra nella fattispecie descritta alla lettera a) del punto 7.1. Infatti, il presente studio costituisce approfondimento, a scala di dettaglio adeguata, della effettiva sussistenza di pericolosità idraulica da esondazione nella porzione dell'area in cui ricade l'intervento di interesse.

La correttezza dell'adozione di questa procedura risulta confermata da quanto indicato all'articolo 15 "Siti d'attenzione", al punto 15.2, relativamente alle iniziative che i soggetti privati possono intraprendere per definire pericolosità e rischio nei siti di attenzione e per proporne la conseguente classificazione.

Lo stesso articolo 15, al punto 15.3, sancisce che: «Nei "siti di attenzione", nelle more della classificazione di cui ai commi precedenti, l'attività edilizia e di trasformazione del territorio è disciplinata secondo quanto specificato per le aree a pericolosità più elevata». Tale indicazione normativa rende quindi necessari gli approfondimenti sviluppati nel presente studio per l'accertamento dei livelli di pericolosità effettivamente riscontrabili nelle aree di interesse, ricadenti all'interno di aree in atto classificate come "siti di attenzione", ai fini della successiva verifica della compatibilità idraulica attribuibile all'immobile di interesse.

In relazione alle specifiche caratteristiche del presente studio, che riguarda un ambito territoriale che è stato già oggetto di valutazione di carattere idrologico e idraulico che hanno determinato le vigenti classificazioni di aree soggette a pericolosità e rischio idraulico, è stata redatta la presente Relazione tecnico – illustrativa.

Per quanto riguarda la modellazione idraulica delle piene, avendo utilizzato la metodologia completa, come illustrato nel seguito, sulla base del Modello Digitale del Terreno, i risultati sono illustrati con le immagini riportate nel corpo della relazione, che costituiscono di fatto le richieste planimetrie.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dall'opera in oggetto si colloca lungo la costa sud-ovest della Città di Siracusa, in prossimità dell'arteria principale di accesso meridionale alla città; essa occupa una zona delimitata a nord-ovest dalla via Elorina, a sud-ovest da depositi precedentemente utilizzati dall'Azienda Siciliana Trasporti, a nord-est da una base aeronautica militare e a sud-est dal mare.

Ampliando l'inquadramento l'opera in progetto si inserisce nella piana alluvionale comunemente denominata *Pantanelli*, essa ricade all'interno dell'Area Territoriale tra il bacino del fiume San Leonardo e il bacino del fiume Anapo", codificata con il numero 092.

La stessa area risulta limitrofa all'area drenata dalla rete dei canali di bonifica dell'area "Pantanelli", che, oltre ad essere a rischio per la scarsa capacità di deflusso dei canali di bonifica, è soggetta anche al rischio di esondazione del fiume Anapo.

La Contrada Pantanelli è una bassa pianura alluvionale con un'altezza sul livello del mare piuttosto limitata. Nel passato sono stati eseguiti lavori di bonifica consistenti nella realizzazione dei canali Pisimotta, Regina, Grimaldi, Pantanelli, che hanno permesso l'urbanizzazione di aree fino ad allora inutilizzabili. Oggi questi canali sono inefficienti per incuria e mancanza di manutenzione e pulizia. Essi, infatti, risultano ostruiti ed occlusi da vegetazione e da materiale di varia natura.

Attualmente lo sbocco a mare è assicurato solo dal canale Pantanelli essendo stati deviati i canali Regina e Pisimotta. Altri canali secondari di drenaggio sono stati obliterati da lavori agricoli. Tutto ciò comporta che queste zone sono frequentemente soggette ad esondazione e ristagni d'acqua anche in occasione di eventi di pioggia modesti.

Dalla carta delle pericolosità geologica (scala 1:25.000) del PRG è stata tratta la perimetrazione delle "aree alluvionabili da parte delle acque di ruscellamento superficiale che non riescono ad essere smaltite per la cattiva manutenzione dei canali".

La zona di contrada Pantanelli, oltre ad essere a rischio per la scarsa capacità di deflusso dei canali di bonifica, è soggetta anche al rischio di esondazione del fiume Anapo. Nel Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume Anapo sono state eseguite le verifiche idrauliche sul tratto terminale del fiume Anapo. Ciò ha condotto alla perimetrazione di aree a rischio e pericolosità che in parte riguardano anche l'area studiata in questo PAI. Nella carta della pericolosità viene pertanto riportata in aggiunta la perimetrazione delle zone a pericolosità P3 e P1 per l'esondazione del fiume Anapo. L'area evidenziata sul PRG come a rischio di inondazione da parte dei canali dei Pantanelli è stata evidenziata come "sito di attenzione" nella carta della pericolosità.

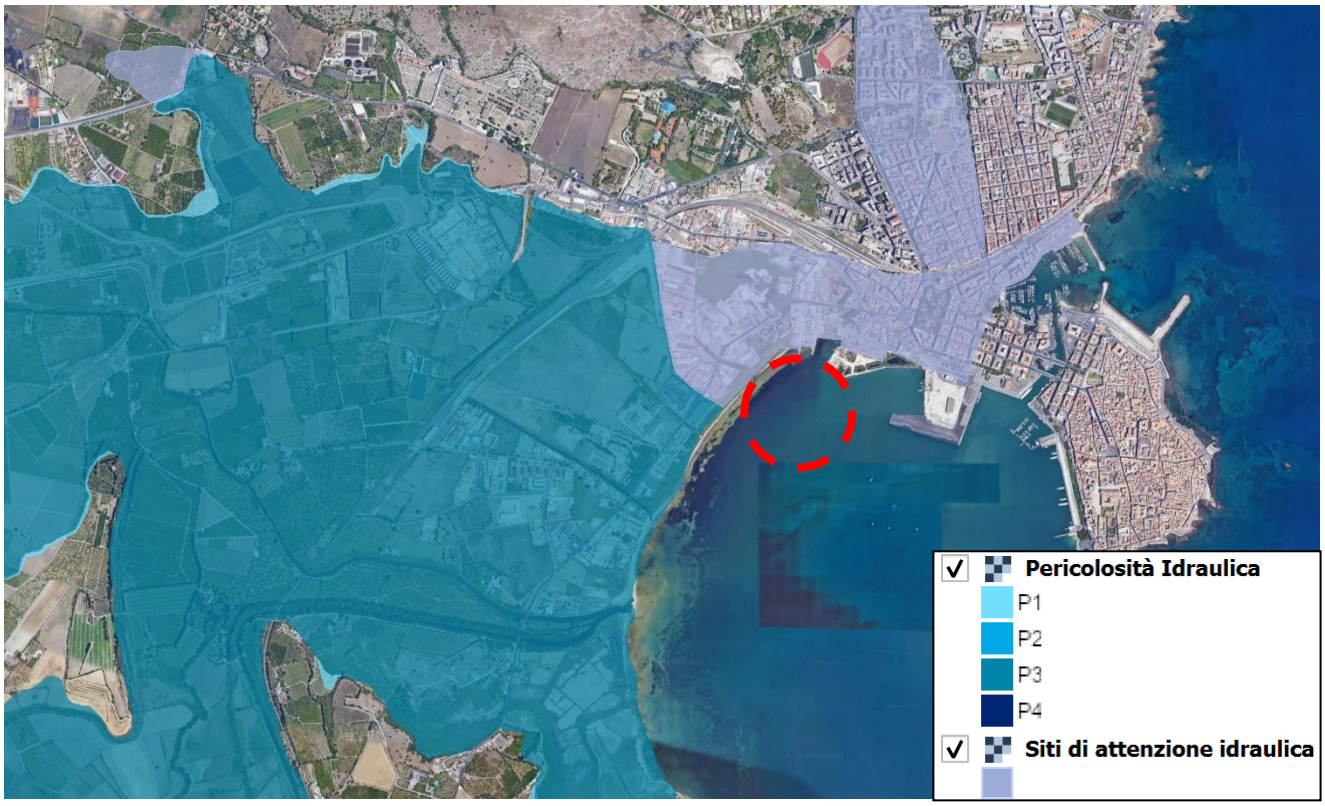

Figura 1: Identificazione delle aree di intervento.

Il Comune di Siracusa, con l'osservazione al PAI pubblicato, ha posto in evidenza la pericolosità derivante da allagamenti sulla SS 124 in corrispondenza del quadrivio Dammusi e dello svincolo con l'autostrada. Queste due aree sono pertanto state aggiunte nella carta della pericolosità come "sito di attenzione".

Per ovviare al problema dell'occlusione dei canali dell'area nel 2021 terminava l'iter approvativo del progetto degli "INTERVENTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA PER IL RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' IDRAULICA PER LA PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO DEI CANALI "ALLACCIANTE PANTANELLI", "PISIMOTTA" E "REGINA" NELLA FASCIA COMPRESA FRA LA FOCE E 300 M CIRCA A MONTE DI VIA ELORINA, IN TERRITORIO DI SIRACUSA" redatto dal Consorzio di Bonifica 10 Siracusa.

Nella cui Relazione Generale si legge a proposito dei canali Pisimotta e Regina e dell'allacciante Pantanelli:

ALLACCIANTE PANTANELLI

L'allacciante Pantanelli fu realizzato da Consorzio di Bonifica Paludi Lisimelie tra la metà degli anni 65 e l'inizio del 1966 . I terreni insistenti nel comprensorio limitrofo al bacino imbrifero dell'Anapo, cioè a monte dell'abitato di Siracusa, convogliavano le acque recapitate nei torrenti Regina, Pisimotta,

Grimaldi e Pantanelli, i quali separatamente sboccavano a mare, nel porto grande di Siracusa, dopo aver attraversato la ferrovia Sr-Noto e la ex SS Occidentale Sicula n° 115.

Figura 2: Allacciante Pantanelli.

L'efficienza idraulica di questi corsi d'acqua specialmente nella parte a valle della ferrovia risultava molto precaria a causa delle quote molte depresse. Ad ovviare questi inconvenienti, si pensò di progettare un canale allacciante che svolgendosi a monte della ferrovia raccoglieva tutte le acque dei tre torrenti portandoli nel nuovo tracciato in modo che i tronchi derelitti del Regina, Pisimotta e Grimaldi, dalla ferrovia alla foce, avessero solo il compito di captare le acque del piccolo bacino a valle della ferrovia, rimanendo quindi tale zona idraulicamente indipendente dalle acque alte.

Il canale allacciante Pantanelli ha origine in corrispondenza della immissione del canale Regina e si svolge a monte della ferrovia per una lunghezza di 1000 m circa, ricevendo le immissioni dei canali

Pisimotta e Grimaldi. Il nuovo allacciante Pantanelli si unisce al vecchio Pantanelli in prossimità dell'attraversamento ferroviario con un brusco cambio di sezione grazie alla realizzazione di una curva con raggio pari a 30 m circa .

CANALE PISIMOTTA E REGINA

Gli argini e l'alveo di entrambi i canali risultano infestati da una notevole vegetazione, costituita principalmente da canne, vegetazione spontanea e rovi, che ostruendo il regolare deflusso delle acque in essi convogliate può determinare, in caso di eventi piovosi di notevole entità, il rischio di esondazione. In particolar modo risultano maggiormente ostruiti i tratti a valle della via Elorina (Ex S.S.115) fino allo sbocco dei Canali al mare.

Figura 3: Canali Pisimotta e Regina.

Risulta dunque a rischio allagamento la suddetta strada (arteria principale di collegamento per la zona sud della Città), le attività commerciali ed agricole ivi presenti ed il mercato ortofrutticolo adiacente al Canale Pisimotta. Con l'esecuzione dell'intervento di pulizia dei canali si conseguirà un migliore deflusso delle acque meteoriche che, in caso di piogge intense, esondano nei loro tratti finali.

Le dimensioni dei canali sono state dedotte sulla base di cartografie agli atti di questo ufficio tecnico consortile.

Il Canale Pisimotta funziona come canale di acque basse della colmata dei Pantanelli con corso principale che ha inizio a valle della vecchia S.P. Siracusa – Canicattini (Ponte di Pietra). Il primo tronco,

in curva, compreso fra detta strada e la nuova S.P. 14 è ormai ubicato all'interno del Centro commerciale "Carrefour" e misura ml 450 circa, con sagoma non più in terra ma in Cls a sezione rettangolare. Oltre la S.P. 14, fino alla linea ferrata, segue il vecchio canale con sagoma in terra e sponde alquanto deformate per una lunghezza di ml 200 circa, ricevendo in sinistra, a ml 65 circa a monte della ferrovia, il Canale Grimaldi, lungo ml 450 circa. Oltre la nuova linea ferrata segue un tratto rettilineo fino alla via Elorina (Ex S.S.115) che misura ml 750 circa, anch'esso con sagoma in terra e sponde alquanto irregolari. Oltre quest'ultimo segue il tronco fociale di ml 100 circa, che risulta invece contenuto fra gabbionate.

Figura 4: Tratto del canale Pisimotta oggetto dell'intervento previsto di manutenzione.

Il Canale Regina funziona da collettore di acque medie della gronda ad Est della Piana Pantanelli ed ha una sezione a trapezio. Il primo tratto ha origine immediatamente a valle della S.P. 14 Siracusa – Canicattini, proseguendo parallela alla suddetta strada, attraversa la nuova linea ferrata in corrispondenza del V.le P. Orsi e prosegue, dopo un tratto interrato in curva, per la Via Elorina (Ex S.S.115) e sbocca nel Porto Grande di Siracusa, dopo un percorso di ml 1300 circa.

Il tratto terminale del canale Pisimotta (in rosso nella figura) va dal ponte sulla Via Elorina fino alla foce sul Porto Grande ed è lungo circa 100m per una larghezza media di 18m, il tratto a monte, in prossimità del mercato ortofrutticolo, ha una lunghezza di circa 250m e larghezza media di 15m.

Il canale Regina è suddiviso in due tratti, il tratto terminale (in giallo nella figura) che dalla Via Elorina arriva fino alla foce è lungo circa 150m e largo mediamente 28m, quello a monte, fino al polo commerciale (Concessionaria Ford), ha una lunghezza di circa 150m e larghezza media 10m.

Figura 5: Tratto del canale Regina oggetto dell'intervento previsto di manutenzione .

Da quanto sopra esposto si evince che:

- La SS124 separa le zone a pericolosità identificate a valle delle analisi effettuate sul Fiume Anapo-Ciane-Mammaiabica, da quelle identificate come "siti di attenzione" dal Comune di Siracusa;
- le zone del sito di attenzione sono frequentemente soggette ad esondazione e ristagni d'acqua anche in occasione di eventi di pioggia modesti;
- i tronchi derelitti del Regina, Pisimotta e Grimaldi, dalla ferrovia alla foce, hanno solo il compito di captare le acque del piccolo bacino a valle della ferrovia, rimanendo quindi tale zona idraulicamente indipendente dalle acque provenienti dalla zona a monte della ferrovia;
- tali tronchi come si evince anche dal censmento dei punti ad elevato rischio del reticolo effettuato nel *Piano Comunale di Protezione Civile - Rischio Idrogeologico e Idraulico* hanno problemi legati alla mancata manutenzione e/o ad interferenze con la viabilità risolti riducendo la sezione utile dei canali stessi.

CODICE	LOCALITA'	INDIRIZZO	PRODUTTORE	STRUTTURA	NOTE	RISCHIO
S18		Via Elorina (S.S. 115 Cassibile-Siracusa)	Canale Pisimotta	Ponte	Ponticello, unica campata in muratura, posto in posizione arretrata e parallela al ponte attraversato da via Elorina. Due tubi corrugati da 100 interrati perpendicolarmente alla strada (larga m 7,00) che attraversa il ponticello aumentano la sezione di porto	ELEVATO
S19		Via Elorina (S.S. 115 Cassibile-Siracusa)	Canale Regina	Ponte	Ponte in C.A. unica campata rivestito in pietra. Presenza di servizi posti lateralmente. Larghezza strada circa m 10,00 più m 2,00 di banchina. Alveo lato foce largo circa m 15,00. (I18)	ELEVATO
S17		Via Elorina (S.S. 115 Cassibile-Siracusa)	Canale Pisimotta	Ponte	Ponte in muratura a tre campate consolidato mediante tiranti; i servizi attraversano il canale parallelamente al ponte. La strada è larga circa m 10,00. L'alveo è occupato da canne, in parte estirpate, che ostruiscono il corso delle acque. (I16).	ELEVATO

Da ciò si può confermare che nell'area di interesse e più in generale nel bacino compreso tra quello del fiume San Leonardo e quello del fiume Anapo, nella porzione di territorio compresa tra la ferrovia, la linea di costa a sud sud-est e la SS124 (sito di attenzione del PAI in rosa in Figura 6) i problemi legati ai frequenti allagamenti sono esclusivamente causati dalle acque zenitali e da un insufficiente sistema di smaltimento, nonché da probabili fenomeni di occlusione delle porzioni esistenti del sistema. Si vuole qui evidenziare come anche i previsti sistemi di smaltimento delle acque bianche previsti nelle zone urbane, secondo i più comuni canoni di buone pratiche, non sono comunque confrontabili e dunque adatti a sopportare eventi con tempi di ritorno elevati come quelli previsti dal PAI Sicilia, motivo per cui le successive considerazioni, che saranno basate sull'analisi della morfologia del territorio descritto, non considereranno eventuali sistemi di smaltimento; tale semplificazione appare perfettamente in linea con i dettami delle norme di attuazione del PAI ancorchè prudenzialmente peggiorativa delle reali condizioni dell'area. Anche i fenomeni di ristagno localizzati dovuti alla particolare morfologia del territorio potranno agevolmente essere eventualmente risolti prevedendo nei punti più depressi adeguati sistemi di smaltimento.

Dunque la propagazione dei volumi idrici nell'area di intervento è sicuramente da ascriversi a movimenti di volumi provenienti dalle aree urbane in prossimità della stessa area di intervento senza alcun legame con il comportamento idraulico della rete di bonifica e delle aree limitrofe.

Eventuali fenomeni di allagamento non sono, dunque, ascrivibili a criticità idrauliche della rete di bonifica esistente ma piuttosto a trasferimento di acque zenitali attraverso

vie preferenziali di deflusso (strade, linea ferrata…) o la loro permanenza in depressioni naturali e/o artificiali. L'area di progetto risulta schermata dalla presenza della linea ferrata che, essendo realizzata in trincea, determina uno sbarramento alle acque di deflusso provenienti da monte.

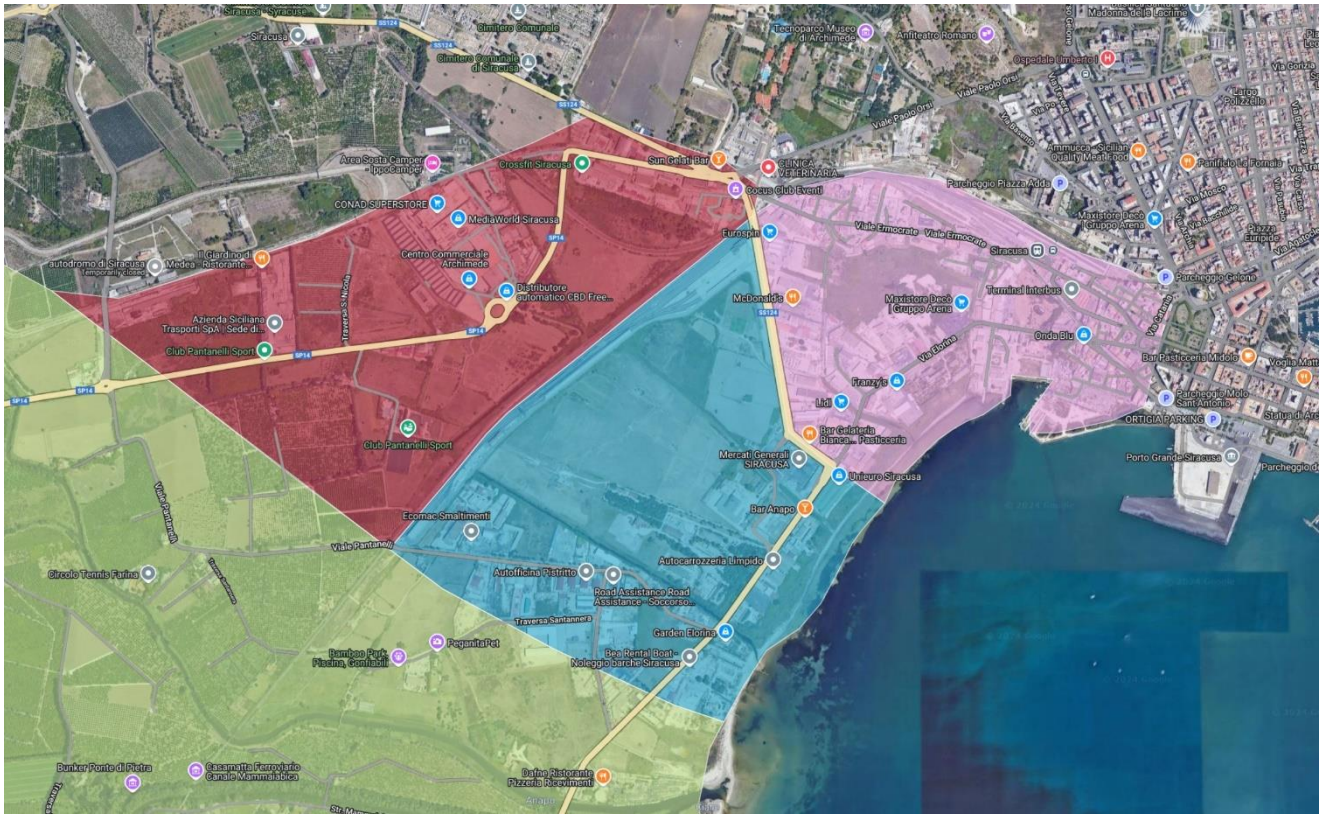

Figura 6: In verde il bacino del fiume Anapo, in rosa il bacino studiato nella presente relazione, in blu il bacino di valle dell'allacciante Pantanelli e in rosso il bacino di monte.

Il bacino limitrofo, in azzurro nella Figura 6, pur essendo anch'esso idraulicamente disconnesso dalle zone di monte riceve comunque le portate raccolte e collettate dall'allacciante "Pantanelli" che essendo alimentato dalle portate raccolte dal canale stesso a monte della ferrovia potrebbe generare fenomeni di esondazione legata all'insufficienza del canale, ai già citati problemi di ostruzione e interferenze con la viabilità. Esso è stato infatti categorizzato a pericolosità P3 anche per la sovrapposizione degli eventuali effetti dovuti alla possibile esondazione del fiume Anapo.

Il presente studio si concentrerà sull'area della Figura 6 campita in rosa simulando il comportamento delle pioggie critiche con tempi di ritorno di 50-100 e 300 anni attraverso una adeguata trasformazione afflussi-deflussi, effettuata grazie all'applicativo HEC-RAS 6.6, sul DTM della zona messo a disposizione dal MASE come si vedrà nel seguito della trattazione. I risultati saranno descritti e discussi nell'apposito paragrafo conclusivo.

4 STUDIO IDROLOGICO

4.1 CONTENUTI E METODOLOGIA DELLO STUDIO IDROLOGICO

Lo scopo dello studio idrologico è la stima delle onde di piena che possono interessare i bacini idrografici oggetto di analisi, con particolare riguardo al calcolo dei valori massimi (di colmo) che le portate possono raggiungere. Tali stime sono sviluppate associando agli eventi di piena, sulla base di analisi di tipo probabilistico/statistico, il corrispondente tempo di ritorno, che ne caratterizza la frequenza temporale e l'intensità, intendendo che gli eventi più intensi sono caratterizzati da basse frequenze di accadimento, presentandosi raramente (elevati tempi di ritorno).

In termini grafici, l'andamento nel tempo t (in minuti secondi - s) della portata $Q_{TR}(t)$ (in m^3/s) che si presenta in una data sezione di una rete idrografica è restituito dall'idrogramma di piena, associato al tempo di ritorno T_R misurato in anni.

I risultati dello studio idrologico costituiscono la base per le successive verifiche di carattere idraulico, nelle quali sono analizzate le condizioni di deflusso delle onde di piena nei tronchi e nelle sezioni del corso d'acqua di interesse.

La valutazione delle portate può essere eseguita con diverse metodologie di calcolo e in funzione della natura e quantità dei dati disponibili.

In generale, avendo a disposizione dati di portata registrati in continuo da una stazione idrometrica presente sul corso d'acqua di interesse, si esegue l'elaborazione statistica degli eventi estremi disponibili ("metodo diretto").

In mancanza di dati rilevati, si verifica la eventuale disponibilità di dati di portata di altri corsi d'acqua e bacini con caratteristiche idrografiche simili a quello oggetto di studio. In caso positivo, potendo quindi stabilire una "similitudine idrologica", si esegue l'elaborazione statistica dei dati disponibili e successivamente si riportano, con adeguata metodologia, i relativi risultati al caso del bacino di interesse.

In molti casi è possibile utilizzare i cosiddetti "metodi di regionalizzazione", che mettono a disposizione parametri idrologici appositamente elaborati, validi per ambiti territoriali vasti che presentano caratteristiche idrologiche, morfologiche e climatiche omogenee. Sulla base di tali parametri è possibile valutare le portate di piena nei singoli bacini idrografici che ricadono all'interno di tali zone omogenee.

Infine, è possibile ricorrere al "metodo indiretto", basato sulla trasformazione degli afflussi di origine meteorica in deflussi di superficie. Tale metodo, di diffusissima applicazione nel campo della idrologia tecnica per la effettiva e diffusa disponibilità di una congrua quantità di dati pluviometrici rilevati per

periodi significativamente lunghi, permette la valutazione delle portate al colmo in funzione delle precipitazioni intense, cioè delle piogge critiche precedentemente introdotte.

Nel caso in esame, si è adottato il "metodo indiretto", e si è quindi proceduto alla determinazione della pioggia di progetto.

La procedura adottata è conforme alle indicazioni contenute nelle direttive e nelle metodologie reperite da letteratura tecnica, a quelle indicate dal P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) della Regione Siciliana (2006) e infine alle direttive del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nell'ambito del Progetto VA.P.I. (Valutazione delle Piene in Italia) pubblicate nel rapporto Valutazione delle Piene in Sicilia [Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993].

Tra le diverse procedure disponibili per il calcolo della portata con metodo indiretto, il modello più utilizzato risulta essere quello cinematico, in particolare il modello razionale, il quale permette di calcolare e stimare il valore delle portate di piena mediante l'analisi e l'elaborazione dei seguenti parametri:

- *Morfometrici e idrografici del bacino idrologico sotteso alla sezione di chiusura;*
- *Tempo di corrivazione;*
- *Altezza di pioggia critica;*
- *Coefficiente di deflusso per la determinazione della pioggia netta.*

Il modello razionale individua la pioggia critica, da assumere come pioggia di progetto che dà luogo al valore massimo della portata di piena alla sezione di chiusura del bacino in esame, assumendo che la sua durata sia pari al tempo di corrivazione che caratterizza il medesimo bacino. Una volta individuata la pioggia critica, si procede alla trasformazione dei corrispondenti afflussi meteorici, espressi in termini di altezze e intensità di pioggia, in portate idriche, tenendo conto della risposta del terreno (pioggia netta), in termini di formazione dei deflussi in superficie.

Nei seguenti paragrafi sono descritte le metodologie applicate per l'individuazione dei bacini da analizzare e delle relative caratteristiche morfometriche e idrografiche.

4.2 STRUMENTI E PROCEDURE PER L'ANALISI MORFOMETRICA E IDROGRAFICA DEI BACINI

Con riferimento al presente progetto, la individuazione del bacino idrografico e del reticolo è stata effettuata utilizzato un modello digitale del terreno (**Piano Straordinario di Telerilevamento** DTM DSM LAST 2x2 o 1x1) con procedura sviluppata in ambiente GIS.

- DTM sta per Digital Terrain Model (Modello Digitale del Terreno);
- DSM sta per Digital Surface Model (Modello Digitale della Superficie – o delle superfici);

Tali file LIDAR sono stati elaborati dal MASE nell'ambito dell' investimento per la "Realizzazione di un sistema avanzato ed integrato di monitoraggio e previsione ", realizzato dal Ministero dell'Ambiente

e della Sicurezza Energetica e sono disponibili gratuitamente per il download. Il Piano Straordinario di Telerilevamento mira a potenziare gli strumenti di conoscenza e a rafforzare le capacità di osservazione e controllo del territorio mediante l'utilizzo di tecniche di Telerilevamento all'avanguardia, contribuendo al contempo ad accrescere le competenze tecnologiche e a diffonderne l'utilizzo nella Pubblica Amministrazione. Nell'ottica di condivisione su cui è imperniato l'intero progetto, il MATTM ha voluto estendere il perimetro del Piano a tutte le problematiche di tipo ambientale (Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale – PST-A), facendo sì che la banca dati sia orientata non solo al rischio idrogeologico, ma anche ad altre importanti aree di interesse ambientale. Tenendo conto di quest'ultimo aspetto la commissione del tavolo tecnico ha definito le tecnologie da utilizzare: Interferometria differenziale SAR (Radar ad Apertura Sintetica) e Laser Scanning LiDAR (Light Detection And Ranging).

La prima fase del PST-A (2008 – 2009) ha comportato l'elaborazione con tecnica interferometrica di immagini SAR acquisite dai satelliti ERS1/ERS2 e ENVISAT tra il 1992 e il 2008 su tutto il territorio nazionale e la realizzazione di voli LiDAR sulle aste fluviali del reticolo principale e sulla fascia costiera. Contestualmente all'acquisizione dei dati è stato sviluppato il software GIS open source AdB-Toolbox con strumenti dedicati alla gestione ed elaborazione dei dati telerilevati.

La seconda fase (2010 – 2011) ha portato all'integrazione della banca dati già costituita nella fase precedente. Il dataset interferometrico è stato aggiornato con l'elaborazione delle immagini SAR acquisite dal satellite ENVISAT dal 2008 al 2010. La banca dati LiDAR è stata estesa con rilievi eseguiti in aree ad elevata criticità idrogeologica individuate dal tavolo tecnico Stato-Regioni.
(https://sim.mase.gov.it/portalediaccesso/mappe/#/viewer/new).

Le elaborazioni della matrice così ottenuta (raster), contenente le informazioni altimetriche delle singole celle, sono state eseguite in ambiente GIS utilizzando il software QGIS con opportune procedure di interpolazione, che di seguito vengono descritte.

Utilizzando come input un livello raster rappresentativo delle quote topografiche o un modello digitale del terreno (DTM), gli strumenti di analisi idrologica consentono di individuare in maniera automatica il sistema di drenaggio e quantificare le caratteristiche del sistema.

A seguito di queste operazioni preliminari si sono individuati i bacini principali relativi a tutti i corsi d'acqua principali e minori identificati tramite l'analisi delle CTR regionali e tutte le caratteristiche morfologiche desumibili attraverso appositi comandi propri del GIS.

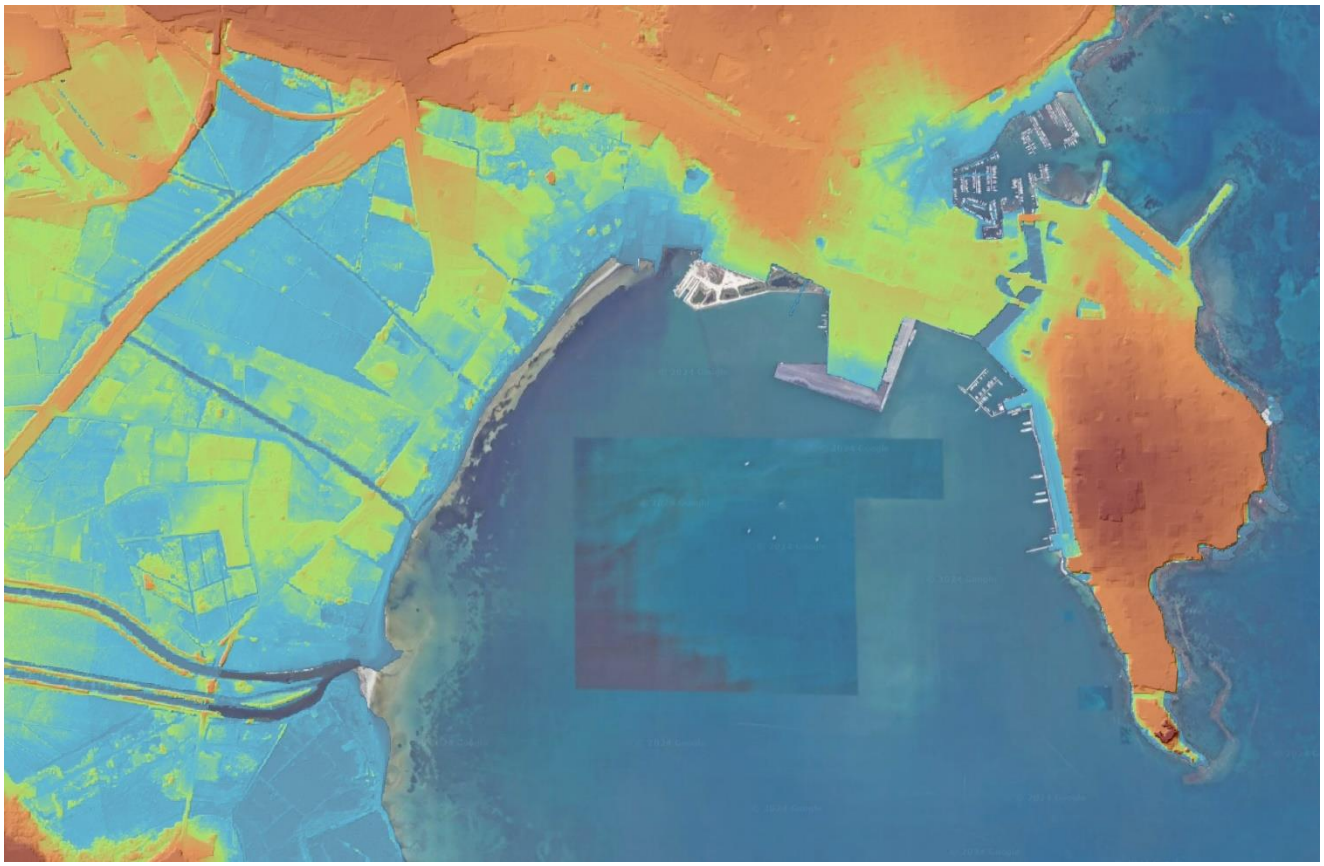

Figura 7: DTM Area di progetto

Figura 8: DSM Area di progetto

Tale procedura si rende necessaria perché ciascuna metodologia riportata in letteratura per il calcolo della portata al colmo di piena necessita che siano determinati i valori di una serie di parametri da inserire all'interno del modello per applicare il relativo modello di calcolo a un determinato caso di studio. Si tratta, fondamentalmente, di caratteristiche morfo-idrometriche del bacino e/o dell'asta principale del reticolo. Tali grandezze possono essere ricavate tramite l'applicazione di alcuni basilari strumenti analitici comunemente applicati in ambiente GIS.

Senza entrare nel merito del significato concettuale di ciascuna applicazione, si fornisce di seguito l'elenco dei parametri ricercati, significativi ai fini del presente studio:

- *Estensione superficiale del bacino (km²).*
- *Lunghezza dell'asta fluviale principale (km)*
- *Quote media e massima del bacino (m s.l.m.)*
- *Quota della sezione di chiusura (m s.l.m.)*
- *Pendenza media del bacino (m/m)*
- *Pendenza media dell'asta fluviale (m/m)*

4.3 INDIVIDUAZIONE DEI BACINI E DEI RELATIVI PARAMETRI MORFOMETRICI

L'opera oggetto del presente studio è sita nel Comune di Siracusa nella zona descritta come "Pantanelli", nel tratto di costa del Porto Grande di Siracusa.

Il software utilizzato ha permesso, una volta individuati sulla CTR regionale i rami interferenti o in prossimità dell'area interessata dall'intervento, di ricavare per ogni ramo il bacino contribuente al deflusso e di conseguenza tutte le grandezze morfometriche indispensabili, richieste per l'analisi idrologica e idraulica.

È stato, per quanto descritto in precedenza, individuato esclusivamente un bacino idrografico in prossimità dell'opera in progetto, il tratto dell'area "Pantanelli" compresa tra la ferrovia e la linea di costa, sufficientemente grande per potere condurre un'analisi spaziale volta a ricostruire la pioggia critica con la metodologia di seguito illustrata.

Nel prosieguo della trattazione le grandezze morfometriche, così come i risultati del calcolo idrologico, sono riepilogate in forma tabellare per il bacino idrografico dei rami in prossimità delle opere in progetto, come sopra identificati.

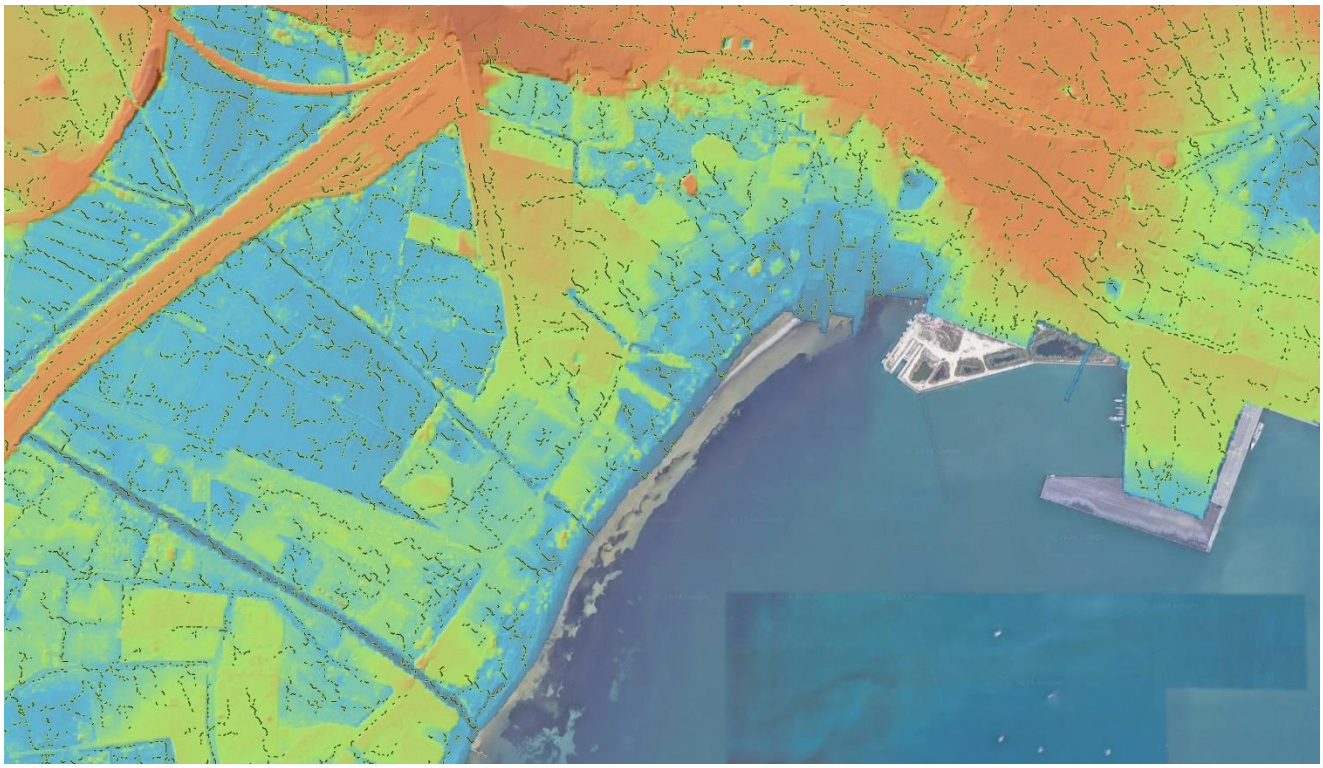

Figura 9: Pre-processing del DTM in QGIS con individuati gli stream-segment identificati in relazione all'area di progetto

Figura 10: Bacino identificato per il calcolo della pioggia di progetto

Di seguito si riportano i valori delle grandezze morfometriche ricavati attraverso il software di analisi morfologica QGIS dei bacini identificati.

ID BACINO		Bacino 01
ASTE FLUVIALI	L [km]	1.25
	Hmax	12.0
	Hmin	0.0
	i [%]	8.70
BACINI SCOLANTI	A [km²] o S	1.09
	Hmax	28.3
	Hmin	0.0
	H media	3.0
	i [%]	19.9
	P [km]	6.976
	Dmax [Km]	3.488

Tabella 1 - Grandezze caratteristiche dei bacini individuati

4.4 TEMPO DI RITORNO E PIOGGIA CRITICA

Il metodo razionale, come è già stato sinteticamente illustrato, prevede che la portata della piena conseguente a un evento di pioggia di dato tempo di ritorno T_R (anni) e altezza totale h_{TR} (mm) assuma il valore massimo assoluto se la durata t_p della pioggia coincide con il tempo t_c di corrivazione caratteristico del bacino. Tale tempo è quello che impiega la particella liquida che deve muoversi sul percorso idraulicamente più lungo per raggiungere la sezione di chiusura del bacino scolante, nella quale è di interesse la stima della portata, in particolare del valore di colmo.

Nel caso in cui $t_p = t_c$ l'evento meteorico diventa critico (pioggia di progetto) ed è preso a base delle valutazioni di carattere idrologico e idraulico nei confronti degli interventi in progetto.

Per la stima dell'altezza della pioggia critica, necessaria per la valutazione degli afflussi, si introduce il concetto di tempo di ritorno T_R, legato alla probabilità di non superamento P(x) della variabile idrologica dalla relazione:

$$P(x) = 1 - \frac{1}{T_R}$$

Per la determinazione della pioggia critica caratterizzata dal tempo di ritorno T_R, si è fatto ricorso all'analisi probabilistica di Gumbel (legge di distribuzione di probabilità del massimo valore). Sono state

inoltre applicate le procedure di calcolo indicate dal P.A.I. della Regione Siciliana (Relazione Generale 2004 e successive modifiche ed integrazioni).

Nel presente studio, la stima del tempo di corrivazione è stata effettuata mediante l'utilizzo e la comparazione di numerose formule empiriche, presenti nella letteratura tecnica ed elaborate per bacini idrografici di piccole dimensioni. Si è scelto di adottare la formula di Kirpich, valida per piccoli bacini, reputandola la più rispondente tra quelle analizzate.

Nel caso in esame, per l'applicazione dei differenti approcci di calcolo, si sono utilizzati i parametri morfometrici di ciascun bacino in studio (superficie A, quota massima della linea spartiacque H_{max}, quota media del bacino H_{med}, quota minima sulla sezione di chiusura prescelta H_{min}) e il parametro idrografico (lunghezza dell'asta principale L_a).

La espressione di Kirpich è la seguente:

nella quale:

- L_a è la lunghezza dell'asta idrografica principale (km);
- i_a è la pendenza media dell'asta principale (m/m).

I valori dei tempi di corrivazione caratteristici di ciascuno dei quattro bacini in studio, calcolati con l'espressione di Kirpich, sono riepilogati nella tabella che segue.

ID BACINO	Tempo di Corrivazione [h]
Bacino 01	0.202

Tabella 2 – Tempi di corrivazione dei bacini individuati

4.5 INDICAZIONI DEL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il P.A.I., attraverso le sue disposizioni, impone agli enti competenti in materia di difesa del suolo l'obiettivo di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali. Per l'analisi idrologica si adottano le direttive riportate nella "Metodologia operativa per l'analisi idraulica e la valutazione del rischio per inondazione" della Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrologico dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Siciliana (2004). L'approccio utilizzato dal P.A.I. è di tipo probabilistico, ovvero utilizza un approccio probabilistico indiretto. Tale approccio consiste nello stimare la portata di piena di progetto attraverso un'analisi probabilistica preliminare delle precipitazioni (afflussi di origine meteorica) nel bacino interessato e la successiva

simulazione del processo della loro trasformazione in deflussi. Lo studio del P.A.I. è stato effettuato per i valori del tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni, assumendo l'ipotesi di linearità della trasformazione degli afflussi in deflussi. In questo modo, la portata conseguente a un evento meteorico risulta caratterizzata dal medesimo tempo di ritorno della pioggia che la ha generata.

Per la determinazione delle Curve di Possibilità Pluviometrica (C.P.P.) si è utilizzata la legge di distribuzione di probabilità del massimo valore EV1, meglio nota come legge di Gumbel.

Nell'ipotesi che le precipitazioni seguano la legge di invarianza di scala temporale, le C.P.P., espresse attraverso la legge di Gumbel, si possono scrivere nella seguente forma:

$$h_{t,T_R} = K_{T_R} \times at^n$$

in cui $h_{t,TR}$ è l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T_R, mentre K_{TR} è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno T_R e dal coefficiente di variazione della stazione CVS attraverso la seguente relazione:

$$KT = 1 - CVS \times \left\{ 0{,}450 + 0{,}799 \times \ln\left[\ln\left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right] \right\}$$

I valori di a, n e CV (quale coefficiente di variazione areale ottenuto dai coefficienti di varianza delle stazioni CVS) sopra riportati sono stati interpolati tramite kriging (Matheron, 1971) su tutto il territorio regionale, producendo le carte regionali dei valori di a, n e CV riportate nelle figure che seguono.

L'algoritmo utilizzato per l'interpolazione, il *kriging*, meglio conosciuto come metodo dell'interpolazione ottimale, si basa sulla circostanza che la grandezza regionale da interpolare è troppo irregolare perché sia modellata da funzioni matematiche regolari ma può essere descritta da una superficie stocastica.

L'interpolazione prevede una prima fase nella quale si indagano gli aspetti stocastici delle variabili regionalizzate e una fase successiva di modellazione vera e propria. Il successo del kriging consiste nella validità di importanti assunzioni che si fanno sulla natura statistica della variazione, assunzioni che sono contenute nella teoria delle variabili regionalizzate.

Dalle carte così ottenute è possibile risalire al valore medio areale di tali coefficienti senza fare ricorso al classico metodo dei topoieti.

Figura 11: Stralcio della Tavola 4 allegata alla Relazione Generale del P.A.I. - valori regionali di a

Figura 12: Stralcio della Tavola 5 allegata alla Relazione Generale del P.A.I. - valori regionali di n

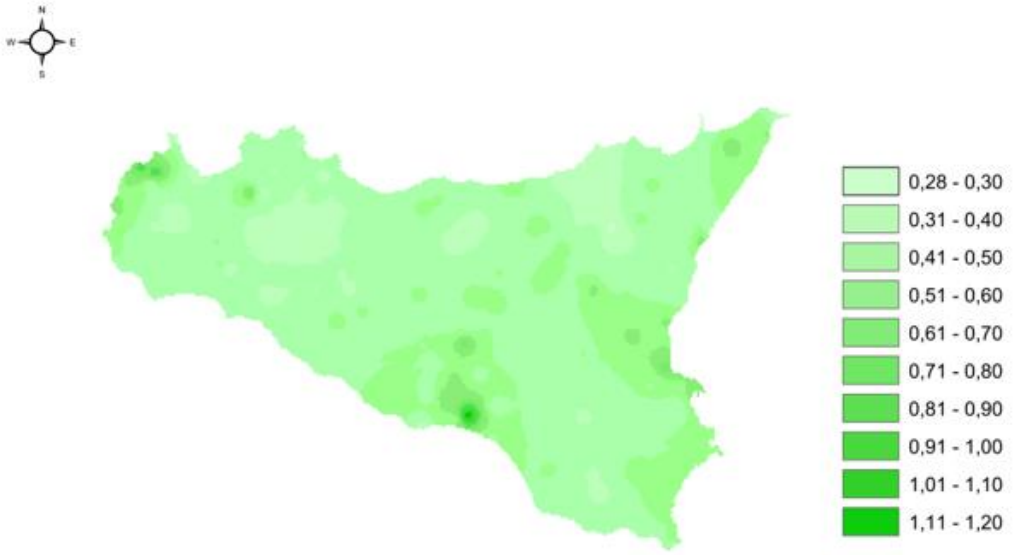

Figura 15: Stralcio della Tav. 5 allegata alla Relazione Generale del P.A.I. - valori regionali di CV

ID BACINO	Bacino 01
a*	34.059
n	0.278
CV	0.537

Tabella 3 – Valori di a, n e CV ricavati per i bacini interessati nello studio

Il calcolo delle altezze critiche di pioggia è effettuato sulla base dei tempi di corrivazione (determinati nel paragrafo 4.4) e per coefficienti di crescita h'(t,T_R) corrispondenti ai tempi di ritorno pari a 50 anni, 100 anni, 200 anni e 300 anni (in conformità alle indicazioni del P.A.I. Sicilia). Si precisa che nel presente caso i tempi di corrivazione dei bacini sono risultati tutti inferiori all'ora e pertanto per valutare l'altezza $h_{t,TR}$ della pioggia (t<60') si è dovuto procedere al calcolo delle C.P.P. servendosi della seguente formula (Ferreri et Al. - Bollettino Ordine degli ingegneri di Palermo, 1-2/89)

$$h_{t,T_R} = 0{,}208 \times h_{60,T_R} \times t^{0{,}386}$$

nella quale $h_{60,TR}$ è l'altezza della pioggia di durata t = 60' e la durata t è espressa in minuti primi (t<60').

Sono inoltre stati utilizzati opportuni coefficienti correttivi, assunti sulla base delle indicazioni disponibili in letteratura tecnica e supportate da ricerche svolte su alcune stazioni di misura italiane

appartenenti ad aree pluviometriche con diverse caratteristiche, in particolare il pluviografo di Roma Macao (riportati in "Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione" del Centro Studi Deflussi Urbani).

Durata [minuti]	5	10	15	20	25	30
r_δ	0,278	0,435	0,537	0,632	0,709	0,758

Tabella 4 – Coefficienti correttivi al pluviografo di Roma Macao (Calenda et al., 1993)

La metodologia precedentemente descritta permette di calcolare direttamente l'altezza della pioggia critica di durata $t_p = t_c$, pari cioè al tempo di corrivazione di ciascun bacino e per il tempo di ritorno T_R considerato. Di seguito la tabella riepilogativa con le altezze delle piogge critiche calcolate per i bacini studiati.

ID BACINO		Bacino 01
TEMPO DI RITORNO	5	22.14
	50	38.19
	100	42.86
	200	47.51
	300	50.23

Tabella 5: Valori delle altezze di pioggia critica per tp = tc (tempo di corrivazione) per ciascun bacino studiato, in [mm]

4.6 IETOGRAMMA DI PROGETTO

Per la definizione dello ietogramma di pioggia lorda è stato utilizzato lo ietogramma Chicago, uno degli ietogrammi implementati nel software Runoff Lab utilizzato per la creazione degli stessi. Principale caratteristica di questo ietogramma consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione dedotta è congruente con quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica.

La costruzione dello ietogramma può essere effettuata come segue:

- il volume di pioggia di assegnata durata T è individuato dalla curva di possibilità pluviometrica nella forma:

$$h=a*t^n$$

- nell'ipotesi di voler definire l'andamento temporale di una precipitazione di progetto con il picco all'inizio dell'evento e con volume congruente, per ogni durata parziale T, a quello deducibile dalla curva di possibilità pluviometrica, deve sussistere la relazione:

$$_0\int^T i*dt=a*T^n \text{ per ogni } T$$

Differenziando l'espressione sopra scritta si ottiene:

$$i(t)=n*a*t^{(n-1)}$$

Lo ietogramma ha la stessa intensità media per ogni durata di quella fornita dalla curva di possibilità pluviometrica da cui è stato dedotto.

Dividendo la durata T in due parti dove Tb=r*T è la parte precedente il picco di intensità (0<r<1) e $T_a=(1-r)*T$ è la parte seguente il picco, e sostituendo nella $i(t)=n*a*t^{(n-1)}$ le espressioni $T=T_b/r$ e $T=T_a/(1-r)$ si ottengono due equazioni che descrivono l'andamento dell'intensità di pioggia nel ramo ascendente prima del picco e in quello discendente dopo il picco:

- $i(t)=n*a*(t_b/r)^{n-1}$ prima del picco
- $i(t)=n*a*(t_a/1-r)^{n-1}$ dopo il picco

dove t_b è il tempo contato dal picco verso l'inizio della pioggia, t_a è il tempo contato dal picco verso la fine della pioggia e r è il rapporto tra il tempo prima del picco di intensità e la durata totale T dell'evento. Le equazioni sopra riportate forniscono un andamento temporale delle intensità, il cui valore medio è congruente per ogni durata con quello dedotto dalla curva di possibilità pluviometrica.

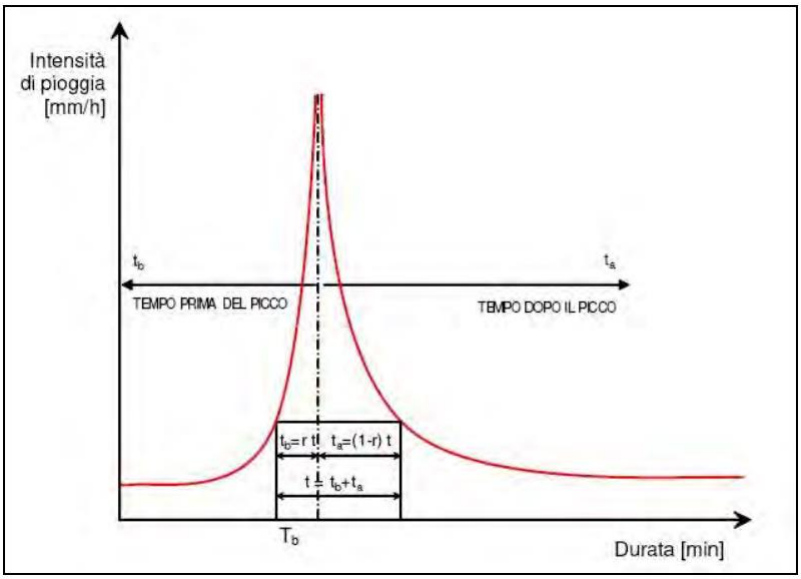

Figura 13: Ietogramma Chicago

Lo ietogramma Chicago è poco sensibile alla variazione della durata di base T. Infatti la parte centrale dello ietogramma rimane la stessa per durate progressivamente maggiori, aggiungendosi solo due code all'inizio e alla fine dell'evento. Pur essendo dedotto dalle curve di possibilità pluviometrica, se la durata complessiva è sufficientemente lunga, risente in minima parte della sottostima dei volumi insita nel procedimento di definizione delle curve stesse. Per avere uno ietogramma il più cautelativo possibile la durata di pioggia utilizzata è stata considerata corrispondente al tempo di corrivazione del bacino in considerazione.

4.6.1 Rapporto sulla curva di pioggia CPP Tr 50 anni:

Dati Curva di pioggia

Tipo: Curva di pioggia diretta

Coefficienti curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
81.420	0.278	$h(t) = 81.4\ t^{0.278}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	81.420	9	149.972	17	178.976
2	98.723	10	154.430	18	181.843
3	110.502	11	158.576	19	184.597
4	119.703	12	162.459	20	187.248
5	127.363	13	166.114	21	189.805
6	133.985	14	169.572	22	192.276
7	139.852	15	172.856	23	194.667
8	145.141	16	175.985	24	196.983

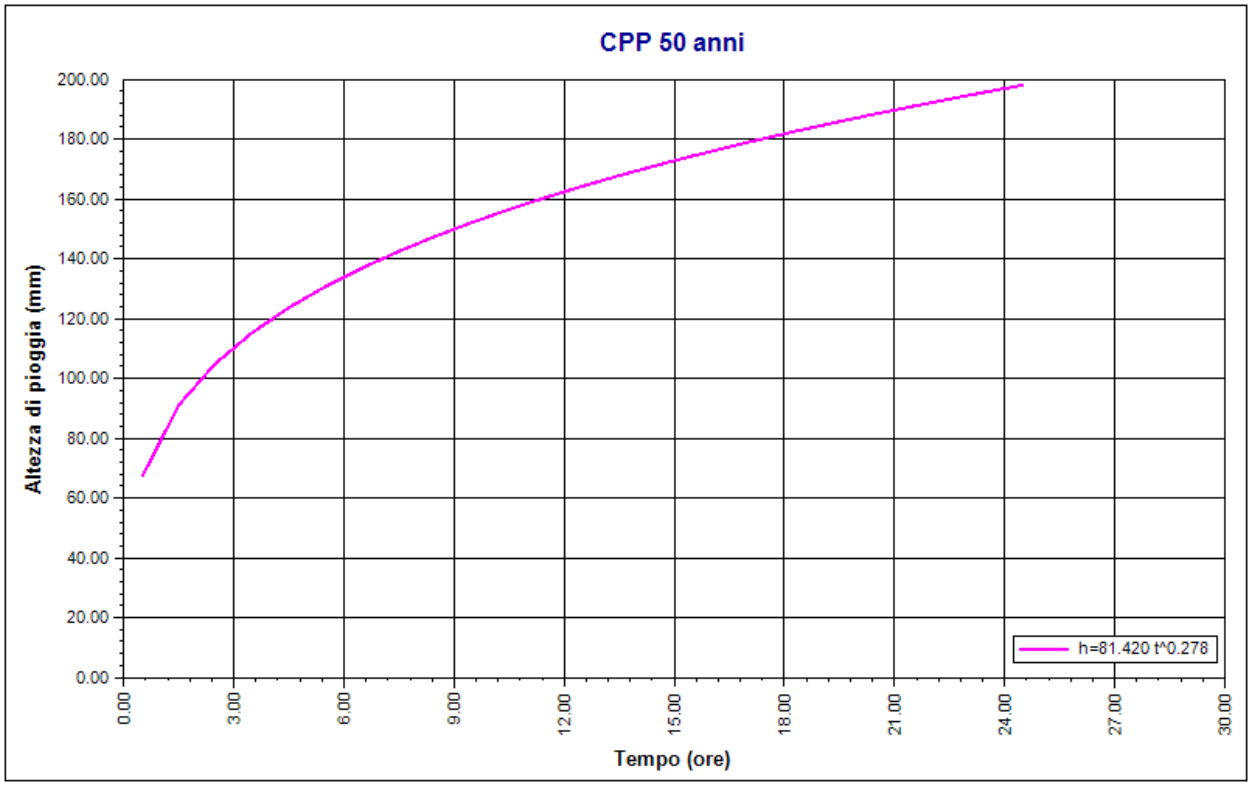

Figura 17: CPP 50 anni

Dati Pluviogramma

Tipo: Pluviogramma sintetico

Curva di pioggia: CPP 50 anni

Durata: 0.210 ore

Altezza di pioggia complessiva: 53.216 mm

Intervallo di discretizzazione: 1

Metodo di calcolo: Pluviogramma Chicago

Posizione picco (r): 0.50

Tabella pluviogramma

n	Estremi intervallo (ore)		Estremi intervallo (minuti)		Altezza (mm)
	t(i)	t(i+1)	t(i)	t(i+1)	
1	0.000	0.017	0	1	1.238
2	0.017	0.033	1	2	1.420
3	0.033	0.050	2	3	1.683
4	0.050	0.067	3	4	2.105
5	0.067	0.083	4	5	2.924
6	0.083	0.100	5	6	5.695
7	0.100	0.117	6	7	25.638
8	0.117	0.133	7	8	4.007
9	0.133	0.150	8	9	2.516
10	0.150	0.167	9	10	1.908
11	0.167	0.183	10	11	1.565
12	0.183	0.200	11	12	1.340
13	0.200	0.217	12	13	1.179

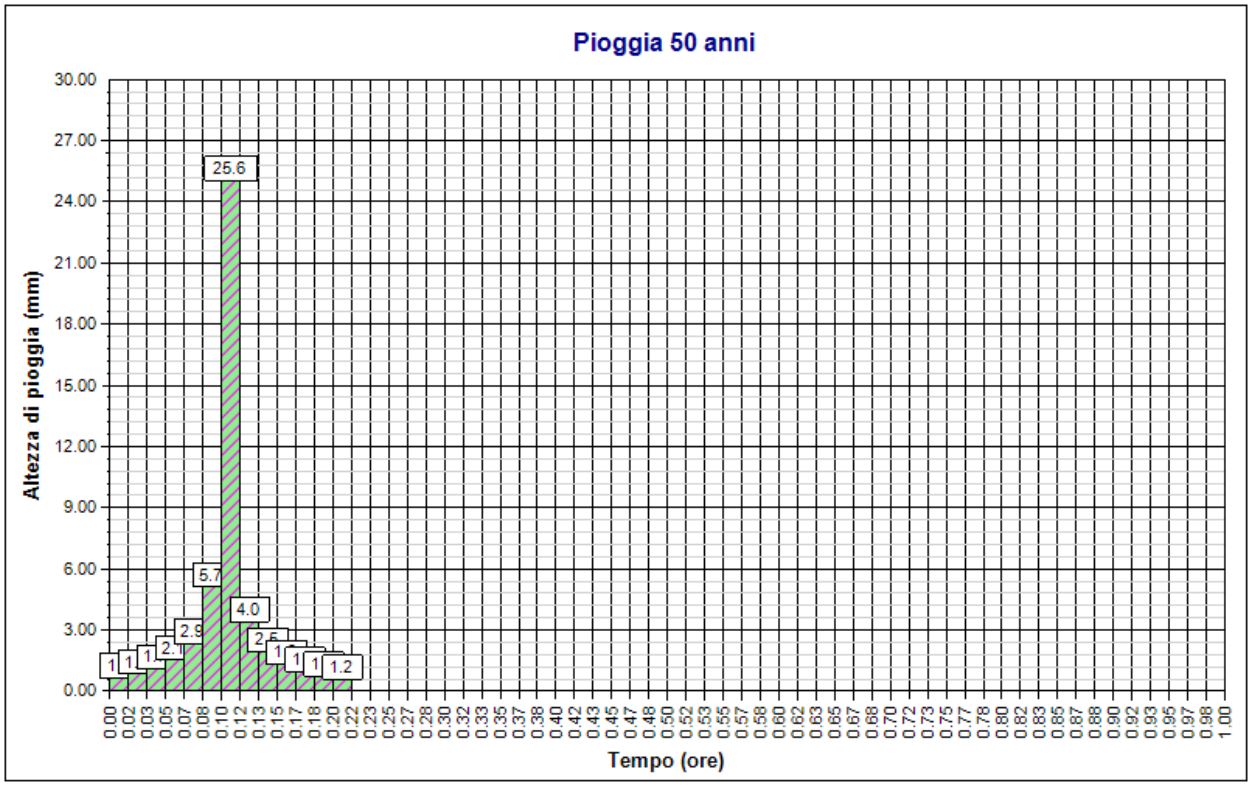

Figura 18: Pioggia 50 anni

4.6.2 Rapporto sulla curva di pioggia CPP Tr 100 anni:

Coefficienti curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
91.370	0.278	$h(t) = 91.4\ t^{0.278}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)
1	91.370		9	168.300		17	200.848
2	110.787		10	173.302		18	204.065
3	124.006		11	177.955		19	207.156
4	134.331		12	182.312		20	210.131
5	142.928		13	186.415		21	213.000
6	150.359		14	190.295		22	215.773
7	156.943		15	193.980		23	218.456
8	162.878		16	197.492		24	221.056

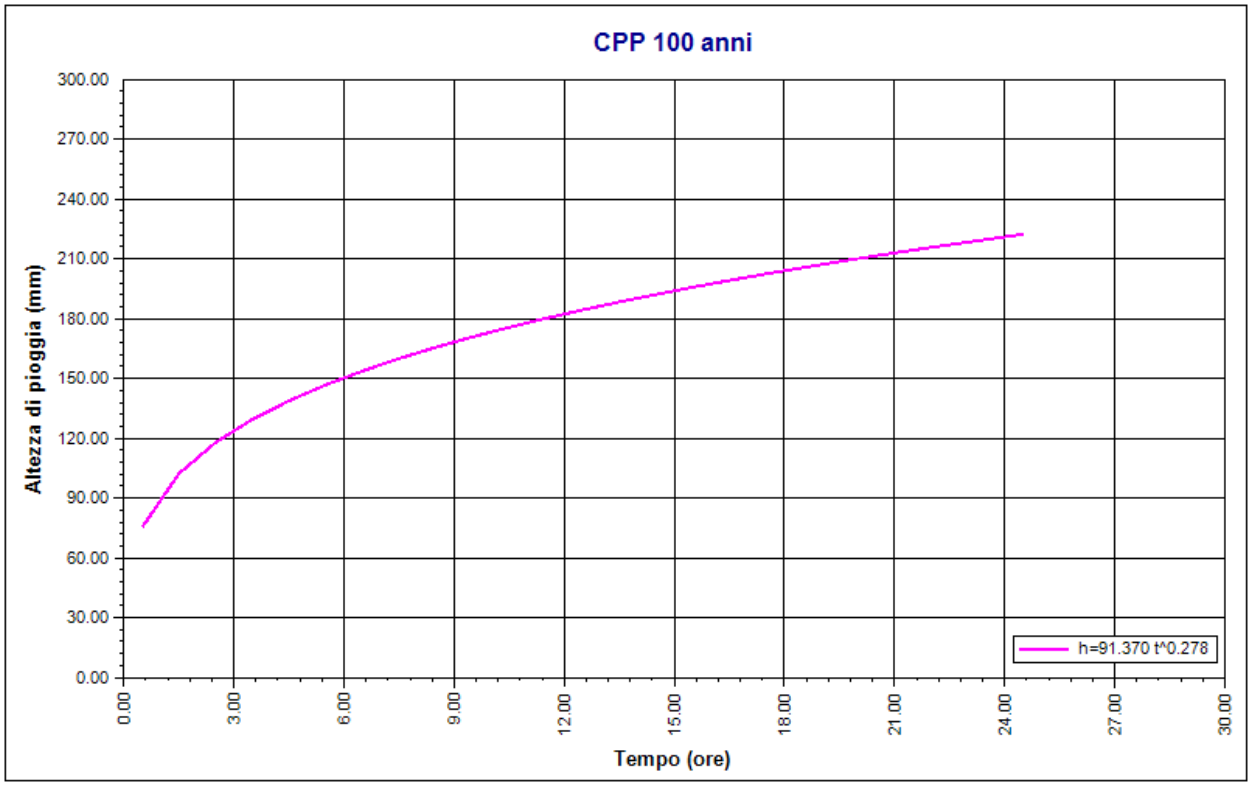

Figura 19: CPP 100 anni

Dati Pluviogramma

Tipo: Pluviogramma sintetico

Curva di pioggia: CPP 100 anni

Durata: 0.210 ore

Altezza di pioggia complessiva: 59.719 mm

Intervallo di discretizzazione: 1

Metodo di calcolo: Pluviogramma Chicago

Posizione picco (r): 0.50

Tabella pluviogramma

n	Estremi intervallo (ore)		Estremi intervallo (minuti)		Altezza (mm)
	t(i)	t(i+1)	t(i)	t(i+1)	
1	0.000	0.017	0	1	1.389
2	0.017	0.033	1	2	1.593
3	0.033	0.050	2	3	1.889
4	0.050	0.067	3	4	2.362

n	Estremi intervallo (ore)		Estremi intervallo (minuti)		Altezza (mm)
	t(i)	t(i+1)	t(i)	t(i+1)	
5	0.067	0.083	4	5	3.281
6	0.083	0.100	5	6	6.391
7	0.100	0.117	6	7	28.771
8	0.117	0.133	7	8	4.496
9	0.133	0.150	8	9	2.823
10	0.150	0.167	9	10	2.141
11	0.167	0.183	10	11	1.756
12	0.183	0.200	11	12	1.503
13	0.200	0.217	12	13	1.323

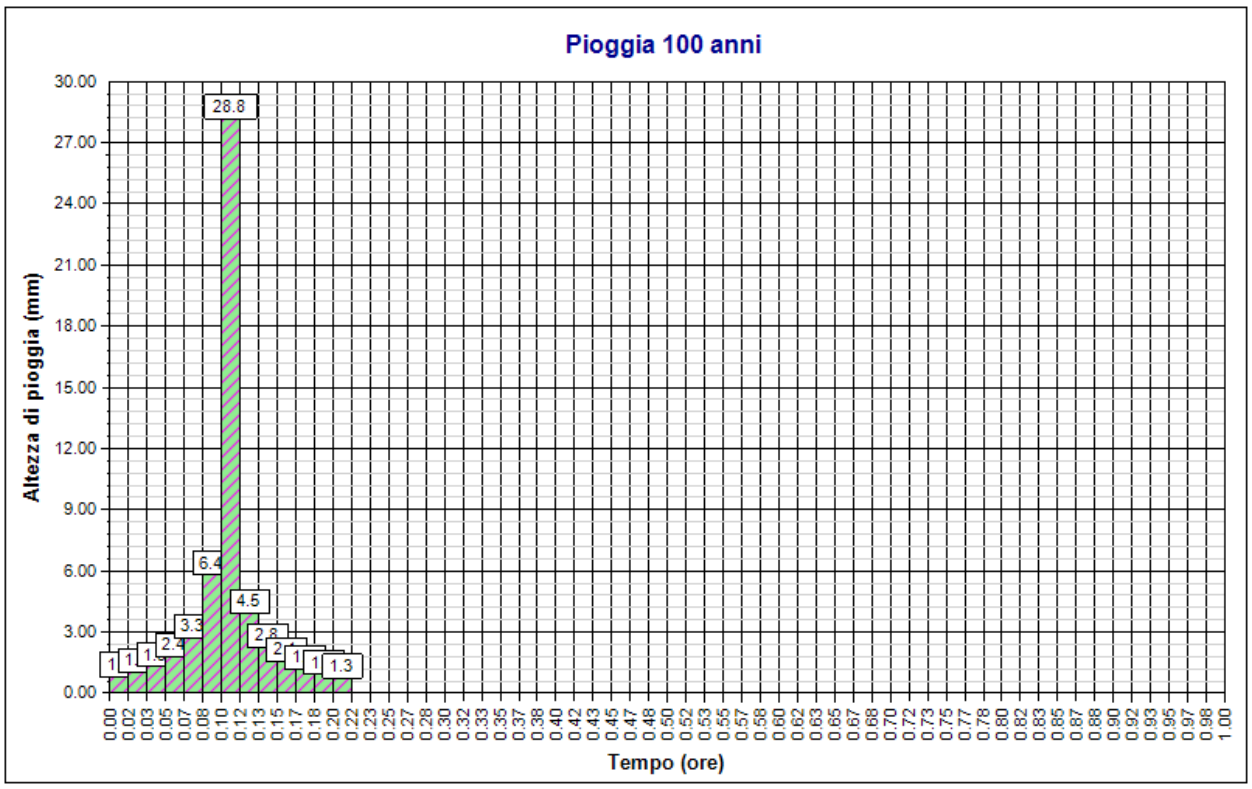

Figura 20: Pioggia 100 anni

4.6.3 Rapporto sulla curva di pioggia CPP Tr 300 anni:

Coefficienti curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
107.070	0.278	$h(t) = 107.1\ t^{0.278}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)
1	107.070		9	197.218		17	235.360
2	129.824		10	203.080		18	239.130
3	145.314		11	208.533		19	242.751
4	157.413		12	213.639		20	246.237
5	167.487		13	218.446		21	249.600
6	176.195		14	222.993		22	252.849
7	183.910		15	227.311		23	255.993
8	190.865		16	231.427		24	259.040

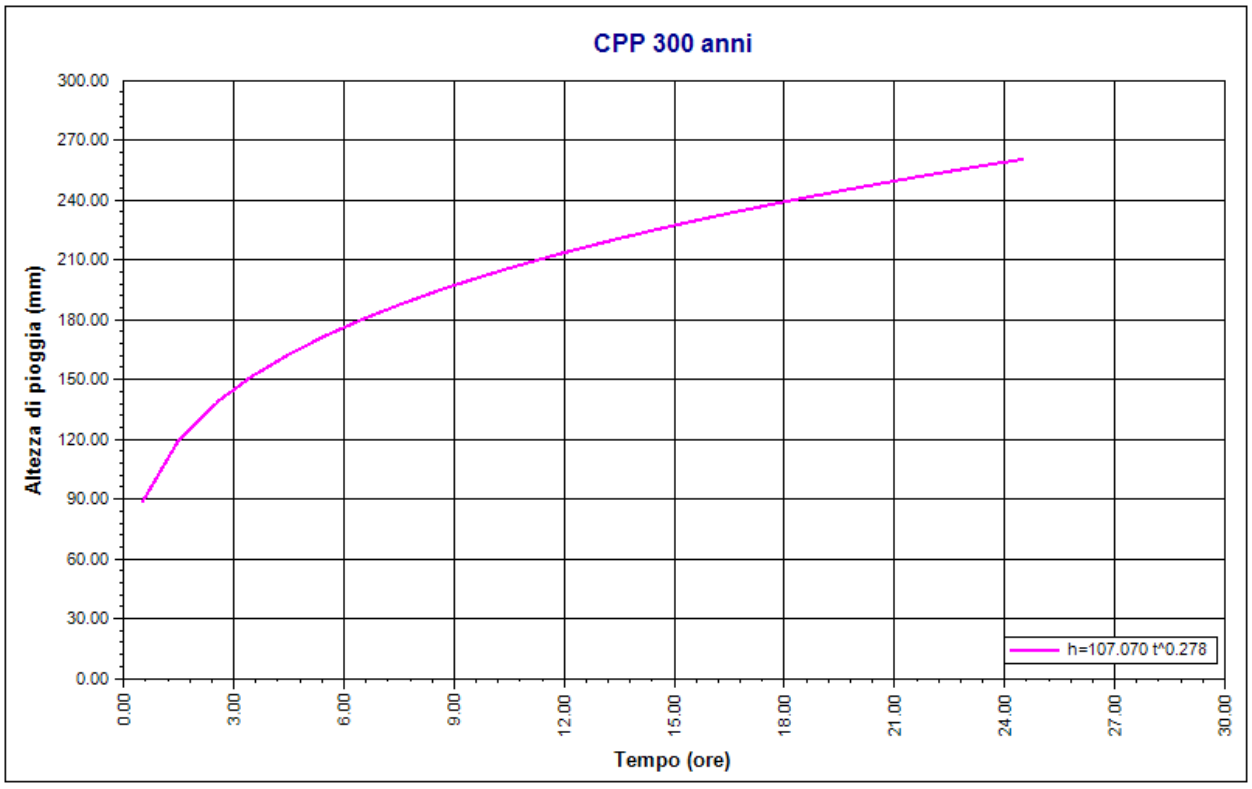

Figura 21: CPP 300 anni

Dati Pluviogramma

Tipo: Pluviogramma sintetico

Curva di pioggia: CPP 300 anni

Durata: 0.210 ore

Altezza di pioggia complessiva: 69.980 mm

Intervallo di discretizzazione: 1

Metodo di calcolo: Pluviogramma Chicago

Posizione picco (r): 0.50

Tabella pluviogramma

n	Estremi intervallo (ore)		Estremi intervallo (minuti)		Altezza (mm)
	t(i)	t(i+1)	t(i)	t(i+1)	
1	0.000	0.017	0	1	1.627
2	0.017	0.033	1	2	1.867
3	0.033	0.050	2	3	2.213
4	0.050	0.067	3	4	2.768
5	0.067	0.083	4	5	3.845
6	0.083	0.100	5	6	7.489
7	0.100	0.117	6	7	33.715
8	0.117	0.133	7	8	5.269
9	0.133	0.150	8	9	3.308
10	0.150	0.167	9	10	2.509
11	0.167	0.183	10	11	2.057
12	0.183	0.200	11	12	1.762
13	0.200	0.217	12	13	1.551

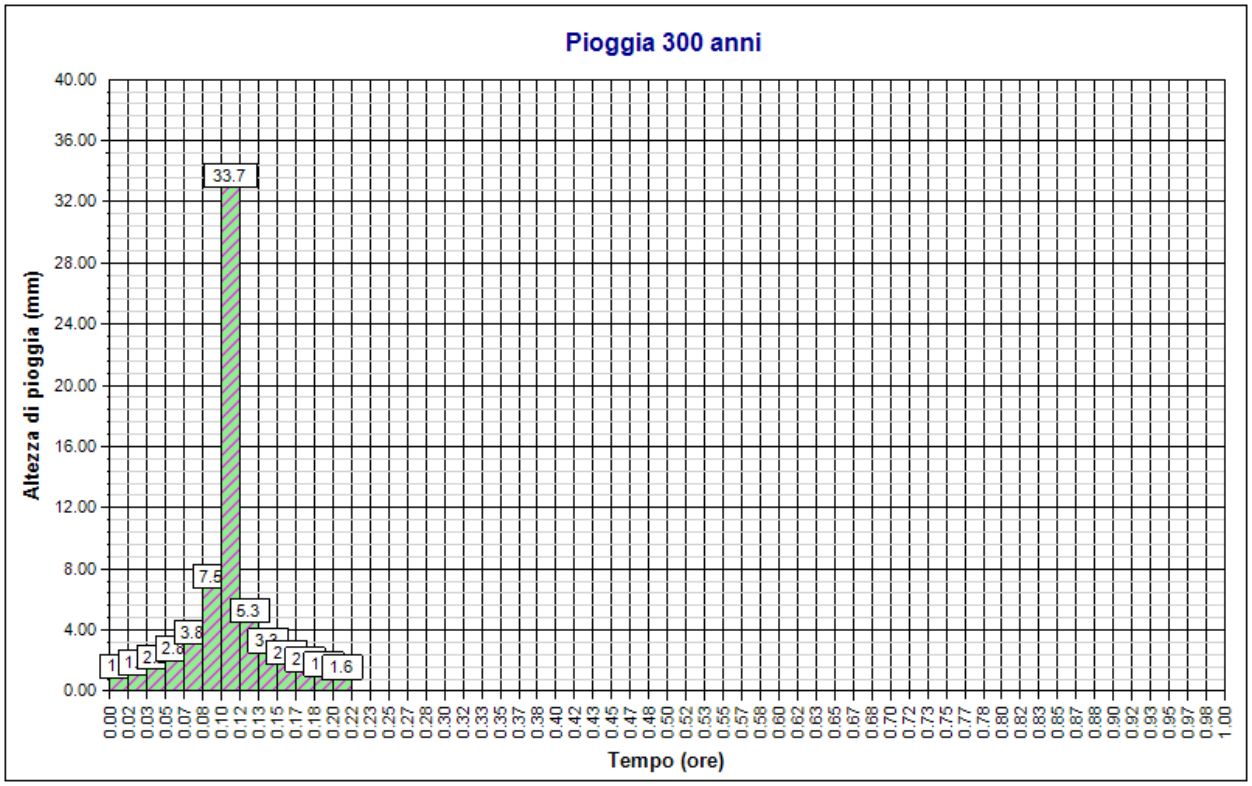

Figura 22: Pioggia 300 anni

Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986) per la definizione del volume netto di pioggia per unità di superficie R_o:

$$R_o = (h - 0{,}2 \times S)^2 / (h + 0{,}8 \times S) \text{ (mm)}$$

nella quale:

- h è la precipitazione meteorica ragguagliata (mm);
- S è il valore massimo dell'invaso per infiltrazione (mm).

Il valore S è calcolato dall'equazione:

$$S = 254 \times (100/CN - 1)$$

I valori del parametro di assorbimento CN da inserire nella formula sono determinati facendo riferimento alla carta del CN costruita sulla base delle informazioni disponibili relativamente all'uso suolo, alla litologia e alla permeabilità. Tali informazioni sono state ricavate analogamente alle precedenti carte su scala regionale per tutta la Sicilia.

Il modello empirico a base fisica Curve Number (CN-SCS) del Soil Conservation Center (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972), assume che, in un evento di piena, il volume specifico del deflusso superficiale Q, sia proporzionale a quello netto precipitato P_n, pari al volume lordo precipitato P depurato dall'assorbimento iniziale I_a, in ragione del rapporto tra volume specifico infiltrato W e un volume specifico S, che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno:

$$\frac{Q}{P_n} = \frac{W}{S}$$

che, tenendo conto delle seguenti relazioni:

$$W = P - I_a - Q; \quad Ia = 0{,}2 \times S; \quad Pn = P - I_a$$

si trasforma in:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2 \times S)^2}{P + 0{,}8 \times S}$$

Il parametro S dipende fondamentalmente dalla combinazione di due fattori: la natura geolitologica e pedologica del terreno nonché l'uso/copertura del suolo. L'effetto combinato di questi fattori è rappresentato globalmente dal parametro adimensionale CN (0<CN<100), legato a S dalla relazione precedente.

Unendo le informazioni provenienti dalla geologia e dalla pedologia, il bacino in esame è classificato in uno dei quattro tipi idrologici di suoli di riferimento, elencati di seguito, caratterizzati da permeabilità progressivamente decrescenti:

- *Gruppo A: Sabbie profonde, terriccio marnoso profondo, aggregati limosi e sabbiosi;*
- *Gruppo B: Sabbie argillose, terriccio marnoso sottile;*
- *Gruppo C: Argille sabbiose, suoli poveri di contenuti organici, ricchi di componenti argillose;*
- *Gruppo D: Suoli con tendenza al rigonfiamento, argille plastiche, suoli salini.*

Il valore di CN si ottiene per incrocio fra le caratteristiche idrologiche del suolo secondo i tipi A – B – C – D e le caratteristiche di uso prevalente del suolo.

Il parametro CN, denominato *Curve Number*, rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso, intendendo che valori bassi indicano bassa capacità a produrre deflusso superficiale, mentre alti valori indicano elevata capacità a produrre deflussi, ovvero il bacino invasa poco deflusso.

Incrociando le caratteristiche idrologiche dei suoli con l'uso/copertura si ricavano numerose aree omogenee per caratteristiche idrologiche e copertura del suolo per le quali stimare il valore del Curve Number , operazione che si effettua mediante l'aiuto della letteratura tecnica.

Ulteriore fattore che influenza il CN è rappresentato dalla condizione iniziale in cui si verifica l'evento critico di pioggia.

La letteratura tecnica individua tre condizioni iniziale di seguito definite:

- *Condizione iniziale AMCI (secca) a cui corrisponde il valore CN (I);*
- *Condizione iniziale AMCII (normale) a cui corrisponde il valore CN (II), riportati nelle tabelle presenti in letteratura tecnica;*
- *Condizione iniziale AMCIII (umida), condizione peggiore il cui valore C(III) è amplificato dal fattore correttivo pari a: "Formula reperita dal Ferro 1993".*

Per il calcolo del valore del Curve Number, in condizioni di umidità standard "CN(II)", si utilizza la Tavola 7 allegata alla Relazione Generale del P.A.I. Sicilia. Tramite l'utilizzo delle griglie si è determinato il valore medio del Curve Number in condizione di umidità standard CN(II), in funzione della sua distribuzione areale all'interno del bacino.

Figura 23: Stralcio della Tav.7 allegata alla Relazione Generale del P.A.I, con griglia areale del coefficiente "CN"

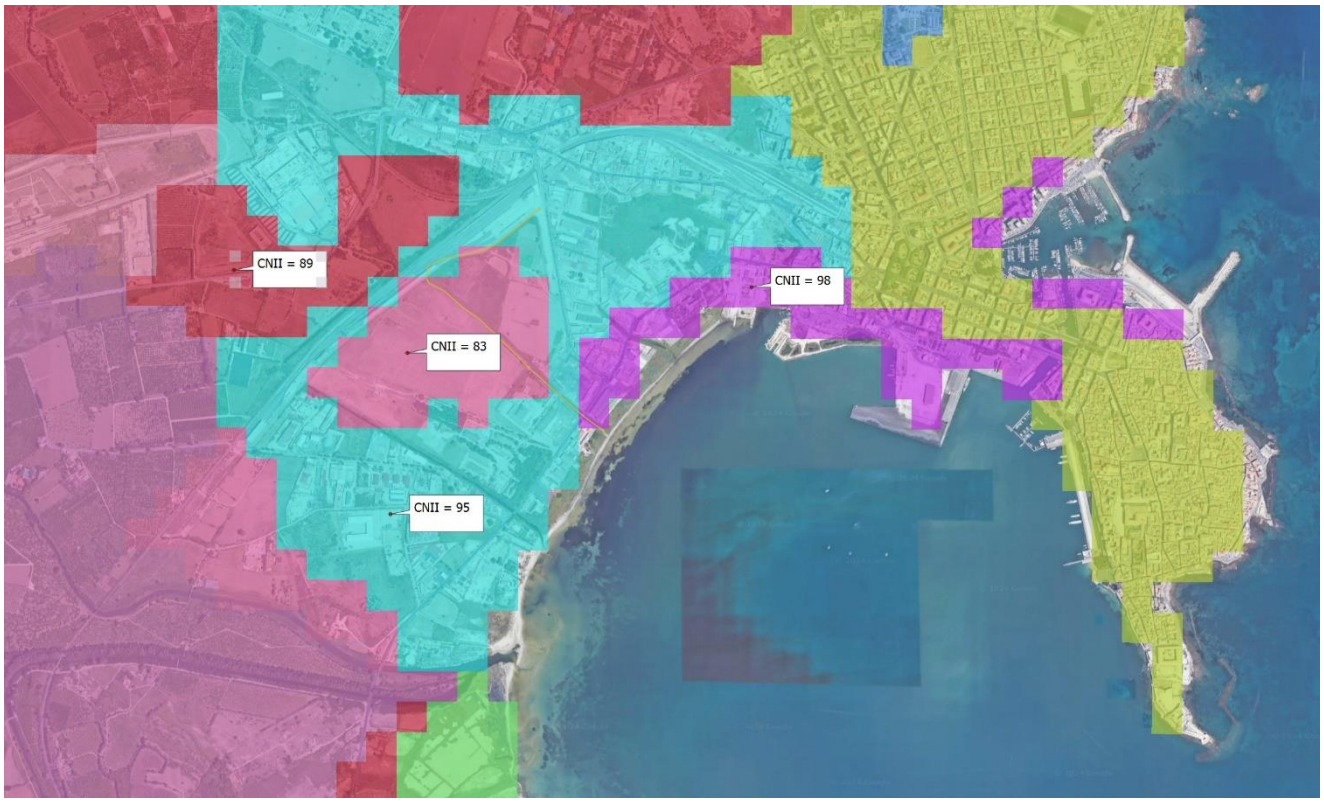

Figura 24: Stralcio della Tav.7 allegata alla Relazione Generale del P.A.I, con griglia areale del coefficiente "CN" dettaglio della zona studiata.

Per lo studio idraulico necessario alla determinazione delle aree bagnate relative ai tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni non sono stati dunque utilizzati i valori di portata e relativi coefficienti udometrici relativi al sottobacino individuato, bensì attraverso l'uso del software HEC-RAS 6.6 si è sviluppata l'analisi usando come dati di input del modello gli ietogrammi calcolati, le mappe di CNII e il DTM scaricato dal MASE. Il processo di trasformazione afflussi deflussi è stato direttamente realizzato all'interno del software con il modello SCS Curve Number e si è dunque proceduto ad una modellazione bidimensionale dell'area.

5 STUDIO IDRAULICO

5.1 IMPOSTAZIONE DELLO STUDIO IDRAULICO PER L'AGGIORNAMENTO DEL P.A.I.

Il presente studio idraulico è stato sviluppato con l'obiettivo di proporre l'aggiornamento del Piano Stralcio di Bacino dell'Area Territoriale tra il bacino del Fiume Anapo e il bacino del Fiume S. Leonardo (n. 091) relativamente al "Sito di attenzione" come descritto in premessa.

A tali fine sono stati valutati gli elementi richiesti ai fini della completa caratterizzazione delle aree in studio sotto l'aspetto della vulnerabilità idraulica, definendo quindi estensione e magnitudo delle esondazioni eventualmente risultanti dalla modellazione idraulica.

In particolare, la determinazione dell'intensità della pioggia efficace ai fini del deflusso è stata effettuata applicando il metodo SCS – Curve Number, utilizzando i valori areali dei parametri a, n e CV per determinare le curve di probabilità pluviometrica, e quelli del CN per la trasformazione afflussi – deflussi, tutti ricavati dalle relative carte regionali allegate alla Relazione Generale del P.A.I. (2004).

Per la presente proposta di revisione del P.A.I. si è proceduto applicando la metodologia completa, così come definita al paragrafo 7.4 della Relazione generale del P.A.I.[1], con le procedure indicate al punto C.1.1) – Studi di compatibilità idraulica: redazione o aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio – e C.3 – Modellazione idraulica - delle Norme di attuazione (2021). In particolare, si è fatto riferimento alla indicazione al punto C.3.b), dato che nel presente caso risulta essenziale valutare i tiranti idraulici, adottando un modello di calcolo bidimensionale in moto vario.

La tabella che segue è tratta dalla Relazione Generale del P.A.I. e indica il livello di pericolosità idraulica da attribuire ad un'area nella quale si sia determinato il valore del battente idraulico H_{TR} in funzione del tempo di ritorno.

Tabella 7.3: Calcolo della pericolosità idraulica secondo la metodologia completa.

Battente Idraulico	Tempo di Ritorno		
	50	100	300
H<0.3 m	P1	P1	P1
0.3<H<1 m	P2	P2	P2
1<H<2 m	P4	P3	P2
H>2 m	P4	P4	P3

[1] Par. 7.4 - Perimetrazione delle aree a diversa pericolosità di inondazione e valutazione del rischio idraulico

I valori discriminanti del battente idraulico H_{TR} determinano quattro livelli di allagamento, cui corrispondono i livelli di pericolosità associati ai tre tempi di ritorno di riferimento. A tale tabella si farà quindi riferimento una volta determinati, con le modellazioni idrauliche effettuate, le distribuzioni areali dei battenti idraulici nelle aree interessate dagli allagamenti.

5.2 IL MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO

Nella considerazione che il presente studio idraulico è stato redatto allo scopo di formulare proposta di aggiornamento del Piano Stralcio di Bacino si è fatto riferimento alla indicazione al punto C.3.b), adottando un modello di calcolo bidimensionale in moto vario in grado di simulare il moto delle acque nell'alveo e nelle aree inondate, restituendo la distribuzione areale dei relativi tiranti idrici. Da tale distribuzione delle altezze idriche consegue la possibilità di distinguere, all'interno delle aree individuate come soggette a inondazione, le zone caratterizzate da diversi livelli di pericolosità idraulica, nonché le caratteristiche del deflusso, in termini di velocità e portate.

Per la modellazione idraulica di cui si riferisce nel seguito sono stati utilizzati i codici di calcolo implementati nel software HEC–RAS (versione 6.6) distribuito gratuitamente dallo U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engeneer Center (www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras). Tale software consente il calcolo di profili idraulici sia in moto permanente che in moto vario ed è utilizzabile in canali naturali o artificiali, anche in ambiente urbano. Esso presenta numerose caratteristiche che lo rendono estremamente affidabile, prima fra tutte la possibilità di effettuare modellazioni sia monodimensionali che bidimensionali, in regime di moto permanente o di moto vario e anche la possibilità di effettuare modellazioni combinate 1D-2D. Nelle simulazioni numeriche è inoltre possibile tenere conto della presenza di manufatti di attraversamenti (ponti o tombini), in corrispondenza dei quali il modello è in grado di gestire i parametri caratteristici delle portate, che potranno defluire in condizioni sia di corrente a pelo libero che in pressione.

Si ritiene superfluo in questa sede proporre la descrizione dei principi teorici e delle equazioni utilizzate nel software, per le quali si rimanda ai manuali ufficiali, liberamente scaricabili all'indirizzo web sopra riportato nella sezione "Documentation", limitandosi ad illustrare i soli parametri di input richiesti per il calcolo. Essi sono i seguenti:

- Geometria dell'area di simulazione
- Coefficienti di scabrezza del suolo
- Condizioni a contorno
- Passo temporale delle simulazioni
- Durata delle simulazioni ed equazioni utilizzate

I parametri ora elencati sono di seguito analizzati in dettaglio.

5.2.1 Geometria delle aree di simulazione

L'area bidimensionale oggetto di studio può essere unitaria o suddivisa in più zone, in funzione della morfologia del terreno e dei risultati che si intendono ottenere. Essa comunque deve avere dimensioni tali che i suoi limiti non interferiscano con i limiti delle superfici di allagamento. L'area di studio, ai fini della applicazione del modello di calcolo, è suddivisa in maglie di calcolo (mesh) con dimensioni in genere funzione dell'estensione complessiva della stessa area di studio.

L'utilizzo di maglie di calcolo piccole (5mx5m o inferiori) permette una elevata stabilità nei calcoli e una maggiore precisione nei risultati finali. Tuttavia, l'uso di maglie di calcolo molto piccole, nel caso di aree di studio molto estese, comporta tempi di elaborazione eccessivamente lunghi. È possibile allora utilizzare una griglia di calcolo con dimensioni delle maglie variabili per zone, mantenendo dimensioni generalmente elevate e prevedendo "raffittimenti" nell'intorno delle aree di maggior interesse, in cui risulta rilevante una adeguata approssimazione del calcolo e quindi una maggiore validità dei risultati.

Si evidenzia che nel definire la geometria delle aree bidimensionali l'algoritmo di calcolo di HEC-RAS, basato sul metodo numerico dei volumi finiti, permette di utilizzare non esclusivamente maglie di calcolo strutturate (ossia di forma quadrangolare) ma anche maglie non strutturate di forma poligonale irregolare ma con non più di otto lati. Nelle aree di confine, o al contatto con un qualsivoglia elemento idraulico, la maglia di calcolo si adatterà automaticamente ai vari contorni con maglie poligonali.

Per quanto riguarda la base plano-altimetrica del terreno, è stato utilizzato il Modello Digitale del Terreno (DTM) reso disponibile dal MASE, con risoluzione 2mx2m.

5.2.2 Coefficienti di scabrezza

Per quanto riguarda i coefficienti di scabrezza associati alle superfici del terreno a contatto con le portate defluenti, sono stati utilizzati i valori definiti da Manning. In particolare, nel presente studio sono stati utilizzati gli shapefile della Corine Land Cover di IV Livello del 2018 disponibile sul sito dell'ISPRA. I valori dei coefficienti di Manning restituiti da tali shapefile danno conto della copertura del suolo conseguente al suo uso (aree urbane, aree agricole, prati, pascoli, incolti, boschi, ecc.). Tali coefficienti risultano analoghi come distribuzione a quella del CNII vista in precedenza.

5.2.3 Condizioni al contorno

Nel codice di calcolo del software HEC–RAS le condizioni al contorno ("boundary conditions") si identificano con le condizioni idrauliche di "ingresso" e "uscita" del deflusso idrico dall'area di simulazione. Nelle modellazioni effettuate per il presente studio sono state utilizzate le condizioni al contorno relative alle portate in ingresso (ietogrammi) associate agli impluvi (condizione

"precipitation") e alla portata in uscita (valle), relativa al deflusso nella sezione terminale (condizione "normal depth").

Nelle simulazioni in moto vario, che sono quelle richieste quando si effettuano modellazioni bidimensionali, non è possibile usare come condizioni di monte (in ingresso) un valore costante della portata ma risulta necessario utilizzare portate variabili nel tempo, ovvero un idrogramma di piena.

Nel caso del presente studio, sono stati utilizzati gli ietogrammi Chicago visti nelle Figura - Figura .

5.2.4 Passo temporale

Ai fini della stabilità numerica del calcolo e della individuazione di una soluzione finale corretta, un altro parametro cruciale nelle simulazioni in moto vario è rappresentato dal "passo temporale" della simulazione ("computation interval") indicato con Δt. Valori di Δt che garantiscono un buon risultato sono generalmente inferiori ai 4 secondi. nel caso considerato si è utilizzato uno step temporale adattivo in funzione del numero di Courant, che tiene conto della velocità della corrente e della distanza tra le sezioni di calcolo.

5.2.5 Durata della simulazione ed equazioni utilizzate

La durata della simulazione deve essere sufficiente a consentire il raggiungimento dei battenti idrici massimi e di riprodurre completamente il successivo ritiro delle acque. Pertanto, essa dipende dalla durata della precipitazione e dal tempo di corrivazione. L'analisi dei risultati della simulazione consente di effettuare il controllo che la condizione minima ora indicata sia soddisfatta.

Per quanto riguarda le equazioni utilizzate per risolvere i calcoli bidimensionali, HEC-RAS permette di utilizzare, in alternativa, due set di equazioni: quelle complete di Saint Venant o quelle della diffusione dell'onda in 2D ("diffusion wave"). Nel presente studio è stato utilizzato il metodo, di default del software, della "diffusion wave", raccomandato dagli sviluppatori del software poiché, oltre a garantire una maggiore stabilità nei calcoli consente tempi di esecuzione sensibilmente più rapidi. Per quanto riguarda tutti i parametri relativi alle tolleranze da considerare nei calcoli sono stati lasciati quelli di default previsti dal software.

5.2.6 Presentazione risultati della simulazione

I risultati di una simulazione sono presentati in forma grafica in termini di superfici allagate riportate su supporti planimetrici di carattere cartografico o su ortofoto. A tal proposito, si evidenzia che di default il software HEC-RAS considera superfici allagate anche le aree con battente superiore a 1 millimetro. Tale circostanza, evidentemente, ha più un significato matematico che fisico, nella considerazione che ai fini della individuazione di un'area soggetta a pericolosità idraulica, risulta

determinante la coesistenza di vari fattori, oltre l'altezza del battente idraulico, come sono la velocità di scorrimento del flusso idrico, la presenza di specifiche condizioni morfologiche, ecc.

Nel presente studio, i risultati delle simulazioni restituiscono aree soggette ad allagamenti a causa della morfologia dell'area in studio, molti avvallamenti e basse pendenze unite all'assenza di vie preferenziali di scarico verso la linea di costa rendono l'area soggetta appunto a tali fenomeni, che risultano, come si vedrà, di bassa entità quasi ovunque.

Nel seguito, le aree soggette ad allagamenti sono state distinte con diversi colori, con riferimento alla scansione delle altezze idriche indicata nella tabella 7.3 tratta dalla Relazione Generale del P.A.I. e riportata nel precedente paragrafo 5.1. Per maggiore dettaglio, la scala cromatica adottata distingue cinque classi di tiranti idrici, avendo distinto in due l'intervallo 1<H<2 indicato nella tabella 7.3.

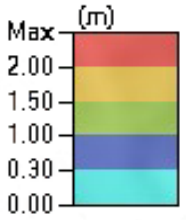

Figura 25: Scala cromatica dei battenti idraulici adottata nel presente studio.

5.2.7 Individuazione del dominio idraulico in studio

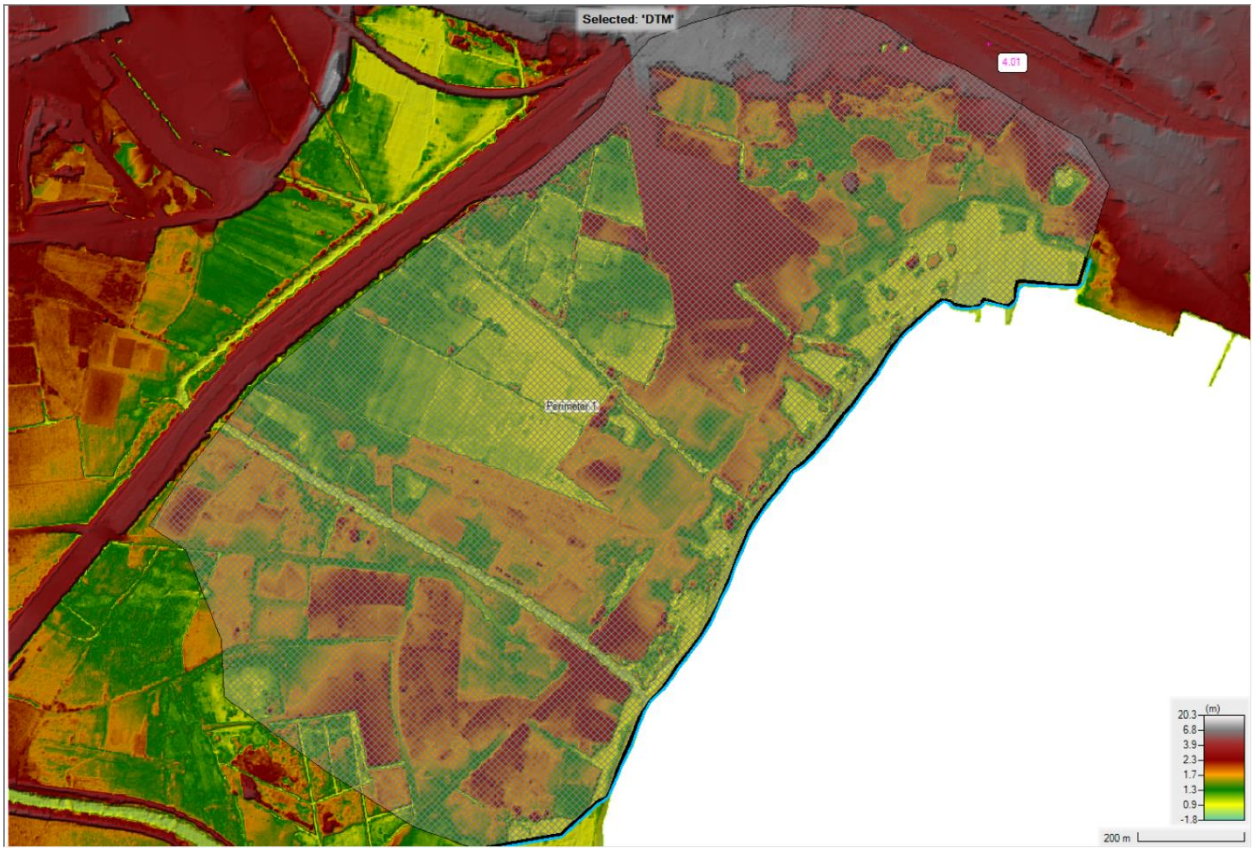

Figura 26: dominio di calcolo considerato per la modellazione bidimensionale del t. Canalotto.

5.3 MODELLAZIONI IDRAULICHE EFFETTUATE

5.3.1 Modellazione idraulica su base DTM

La modellazione delle portate di piena è stata effettuata inizialmente utilizzando come base plano-altimetrica del terreno il Modello Digitale del Terreno (DTM) reso disponibile dal MASE, con risoluzione 2mx2m.

Nelle immagini che seguono sono rappresentate, su base ortofoto, le aree soggette ad allagamento, per le portate caratterizzate dai tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni e la distribuzione delle altezze idriche, secondo la scala cromatica adottata.

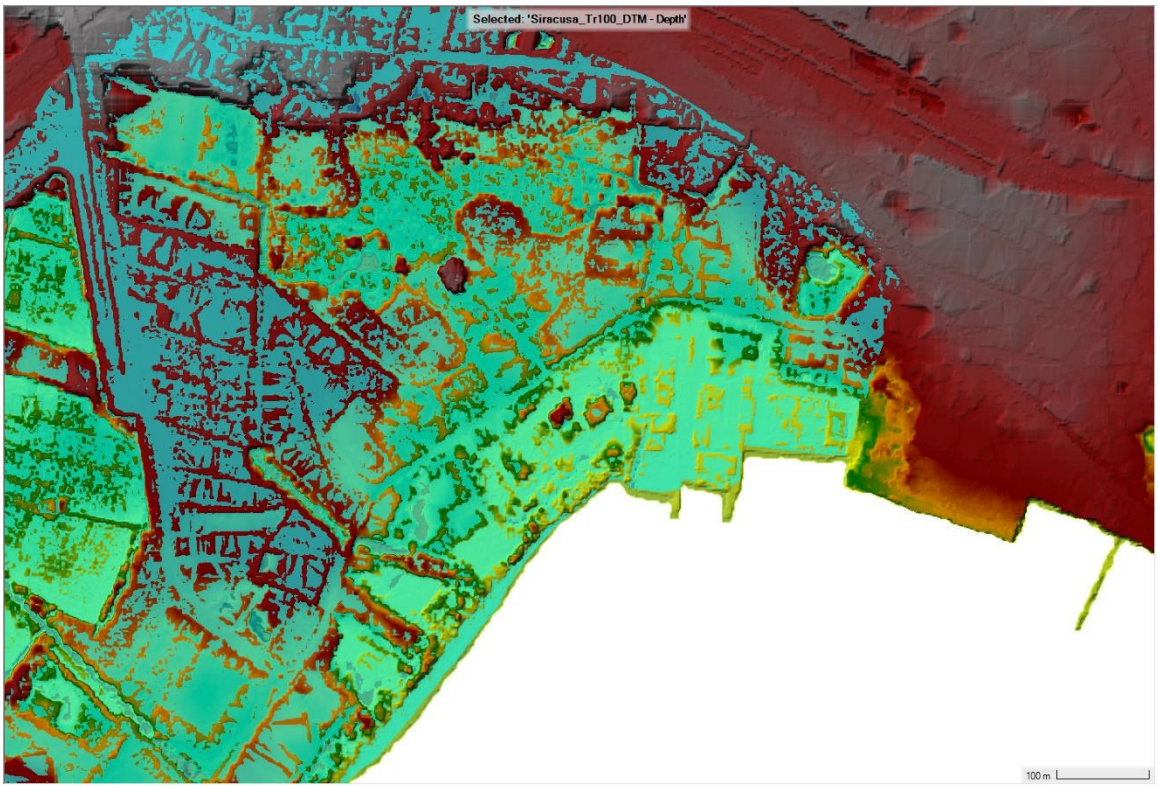

Figura 27: area soggetta ad allagamento per piogge critiche con tempo di ritorno 50 anni - distribuzione dei tiranti idrici.

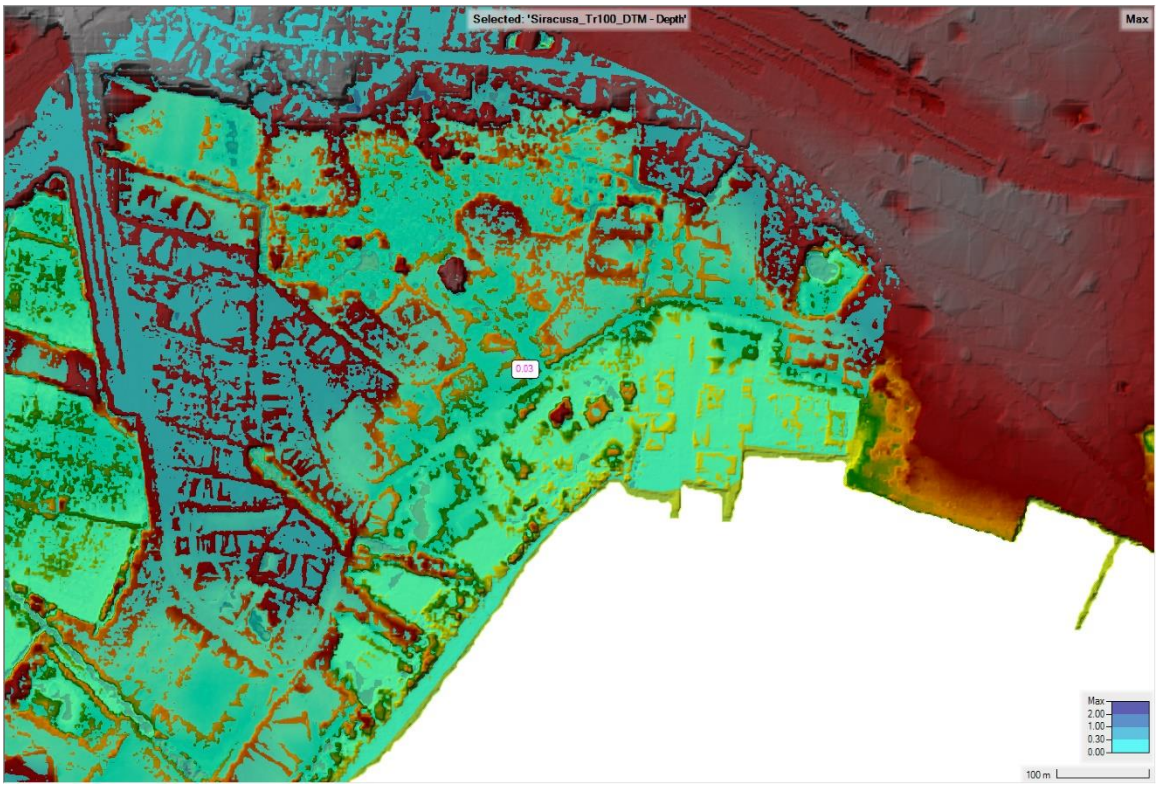

Figura 28: area soggetta ad allagamento per piogge critiche con tempo di ritorno 100 anni - distribuzione dei tiranti idrici.

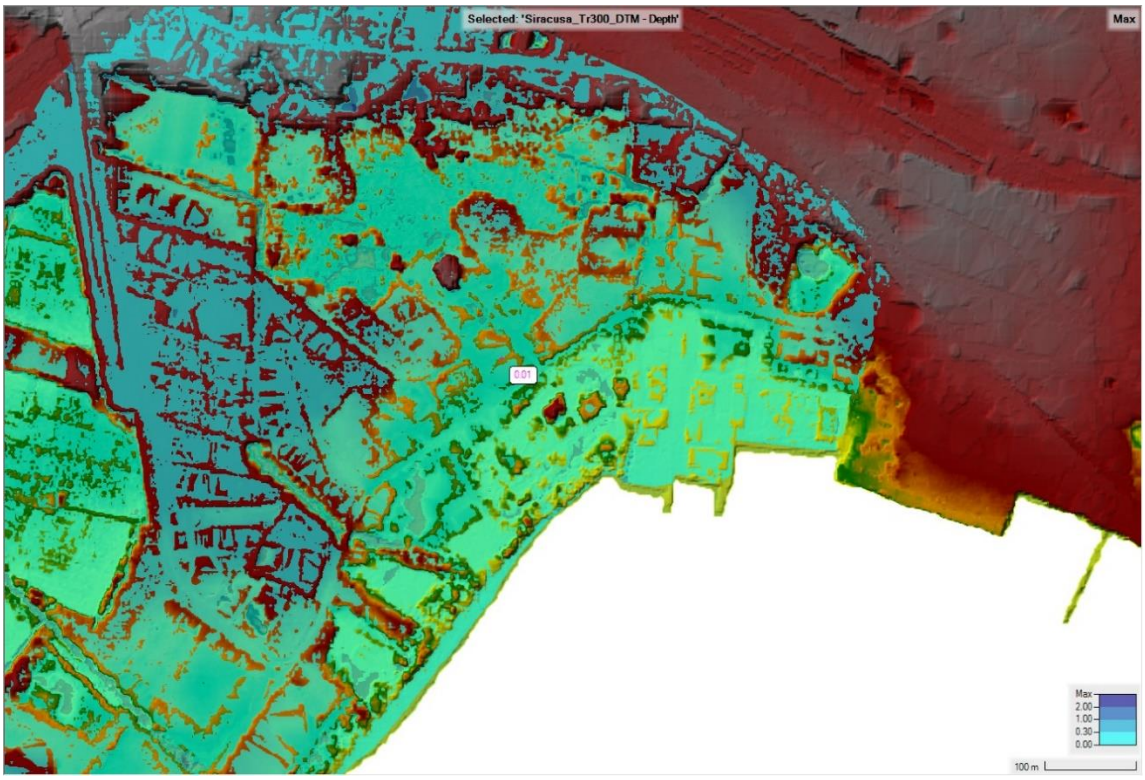

Figura 29: area soggetta ad allagamento per piogge critiche con tempo di ritorno 300 anni - distribuzione dei tiranti idrici.

L'analisi del risultato ottenuto utilizzando come supporto topografico il DTM del MASE così come reso disponibile, con riferimento particolare all'ambito territoriale oggetto della modellazione idraulica, ha condotto a formulare l'ipotesi di una "mancata presenza", in termini geometrici, delle incisioni dei canali di bonifica specialmente il Canale denominato Regina. Questa eventualità equivarrebbe a non tenere conto della effettiva efficienza idraulica del tratto canalizzato del t. Canalotto e avrebbe una significativa, se non decisiva, influenza sui risultati ottenuti con la modellazione.

L'ipotesi si basa sulla circostanza che la presenza di un tratto canalizzato, con ampia sezione rettangolare ribassata rispetto alle quote dei terreni circostanti, comporta ordinariamente che le altezze idriche maggiori (zone rosse) si ritrovino con continuità lungo tale manufatto, in relazione al deflusso principale delle portate di piena contenute nel canale. La frazione di portata che supera la capacità di convogliamento del canale esonda e i corrispondenti volumi idrici si distribuiscono nel territorio circostante generalmente con battenti idraulici più contenuti rispetto a quelli lungo il canale, in relazione alle differenti quote di scorrimento (fondo canale – terreno circostante).

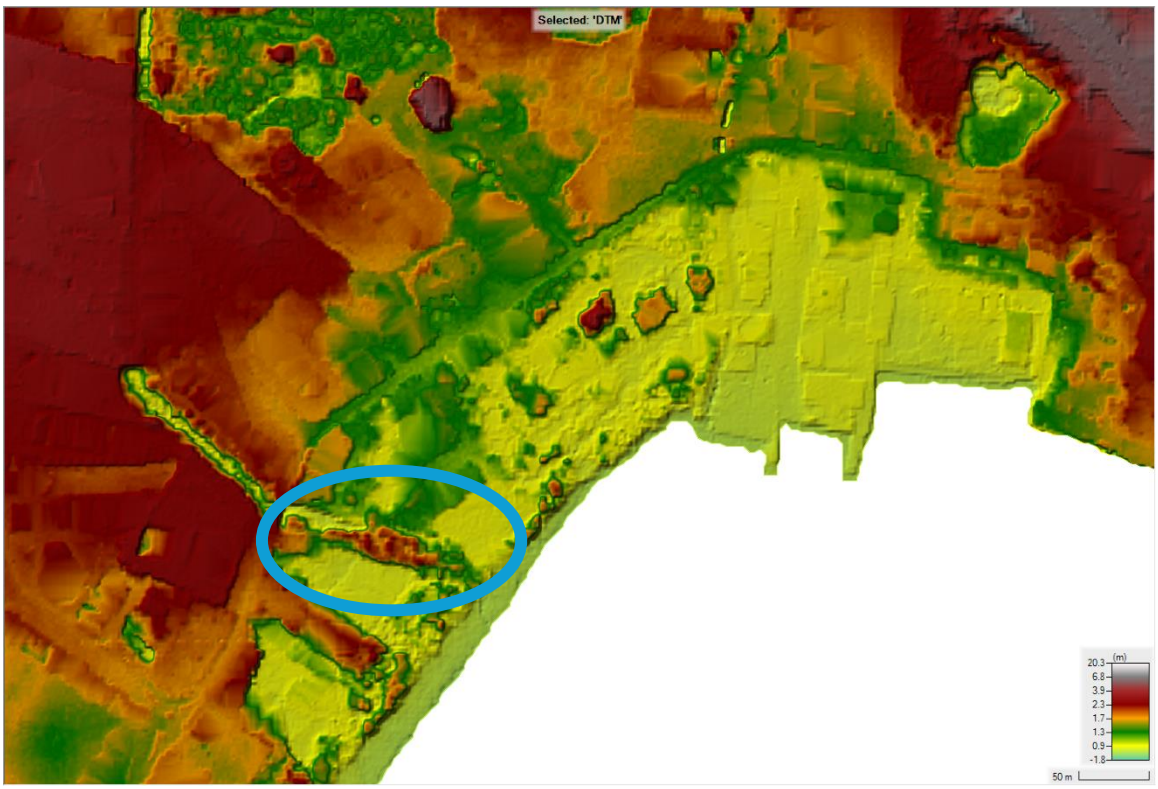

Figura 30: DTM MASE si evidenzia come il tratto terminale del Canale Regina risulti effettivamente con quote superiori rispetto a quello a monte della via Elorina.

Tale processo trova solitamente immediata evidenza cromatica nei risultati ottenuti con la modellazione della piena, al contrario di quanto si osserva nelle figure che precedono in cui il tratto terminale del canale Regina appare in certi punti addirittura privo di portata.

Se si ammette che il DTM così come reso disponibile non fornisca una geometria sufficientemente dettagliata, adeguata a dare conto della presenza di un tratto di torrente canalizzato, si può nel contempo assumere tale circostanza come genericamente equivalente ad una situazione in cui il tratto di torrente canalizzato risulti privato, parzialmente o totalmente, della sua officiosità idraulica. Si può, in questa ipotesi, fare riferimento ad una condizione di scarsa o assente manutenzione del canale, ovvero di una accidentale accumularsi di materiali trasportati dalla corrente di piena in corrispondenza dei manufatti di attraversamento.

Senza entrare troppo nel merito, ma applicando criteri di ragionevolezza volti esclusivamente a valutazioni di tipo qualitativo e non quantitativo, ci si può aspettare che i risultati di una modellazione idraulica che volesse riprodurre una condizione del genere (ridotta officiosità idraulica del canale) sarebbero molto simili a quelli ottenuti con la prima modellazione.

Peraltro, si avrebbe per conseguenza una sovrastima dei volumi idrici esondati e, quindi, una estensione pure sovrastimata delle aree soggette ad allagamento, e dunque a pericolosità. Quanto sopra a riprova, se mai ce ne fosse bisogno, della fondamentale importanza che rivestono per la sicurezza del territorio le normali operazioni di manutenzione delle opere idrauliche di sistemazione della rete idrografica naturale, tanto più in ambiti urbanizzati.

5.3.2 Dettaglio aree a terra adiacenti allo specchio acqueo impegnato dalle opere in progetto

In particolare, per quanto riguarda il lotto di terreno facendo riferimento alle figure successive che mostrano la massima estensione delle aree soggette a pericolosità idraulica secondo la modellazione idraulica sviluppata con il presente studio per il tempo di ritorno maggiore, pari a 300 anni. Da tale figura si evince che la nuova classificazione comporterebbe una soggezione parziale ad esondazione nella aree a ridosso dell'opera in progetto, con livelli di pericolosità media P2 e moderata P1.

Si evidenzia in proposito che l'articolo 17 - Verifica di compatibilità di interventi o attività in aree perimetrate - delle Norme di attuazione del P.A.I. recita:

"17.4. Nelle aree a pericolosità "P0", "P1" e "P2" è consentita l'attuazione delle previsioni degli strumenti urbanistici (generali, attuativi e di settore) vigenti, corredati da studi e indagini geologiche e geotecniche effettuate ai sensi della normativa in vigore. Il parere di compatibilità viene rilasciato dagli Enti preposti al rilascio del provvedimento finale di autorizzazione/concessione che si dovranno avvalere di figure professionali competenti."

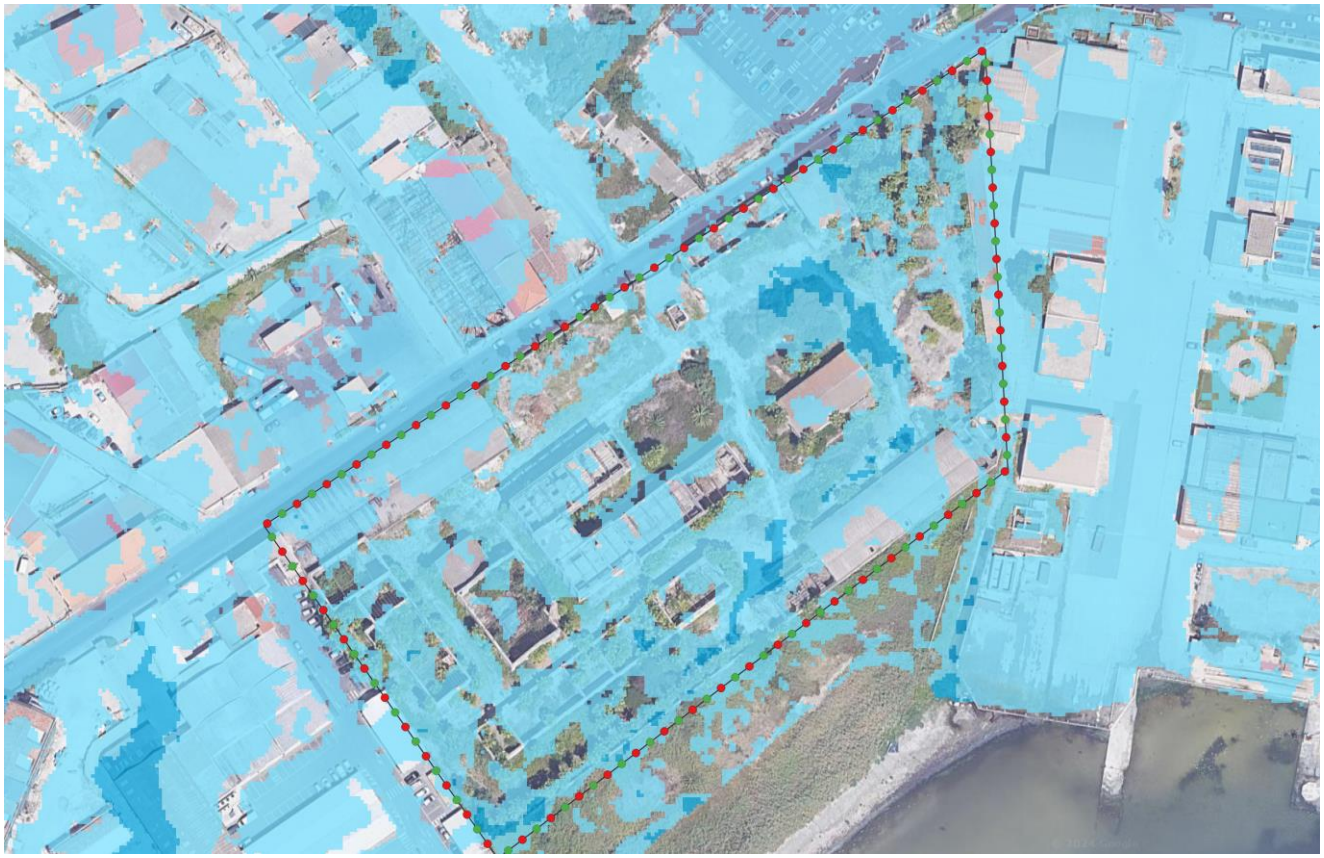

Figura 34: il risultato del modello combinato fornisce evidenze di zone P1 e P2 nelle aree a ridosso dell'opera in progetto.

VALORI DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

P1 Pericolosità bassa

P2 Pericolosità moderata

P3 Pericolosità elevata

P4 Pericolosità molto elevata

6 CONCLUSIONI

Il presente studio, redatto in conformità a quanto indicato nel Decreto del Presidente della Regione Siciliana n. 09/AdB del 06/05/2021, con il quale (articolo 1) *«Sono approvate le modifiche alla Relazione Generale - Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – redatta nel 2004, di seguito "Relazione Generale"»* ed in particolare, nel "Capitolo 11 - Norme di attuazione" della Relazione Generale del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del 2021, che all'articolo 7 definisce in dettaglio le procedure di aggiornamento e revisione promosse da soggetti pubblici o privati, rimandando alla "Appendice A - Documentazione per le procedure di aggiornamento del PAI" per quanto riguarda articolazione e contenuti dello studio idrologico-idraulico che è necessario produrre, suggerisce che l'area a terra in prossimità delle opere in progetto risulterebbe dalle valutazioni fatte classificabile con livelli di pericolosità media P2 e moderata P1.

Dalle valutazioni effettuate e dal materiale raccolto per lo studio si evince anche che:

- i tronchi derelitti del Regina, Pisimotta e Grimaldi, dalla ferrovia alla foce, hanno solo il compito di captare le acque del piccolo bacino a valle della ferrovia, rimanendo quindi tale zona idraulicamente indipendente dalle acque provenienti dalla zona a monte della ferrovia;
- tali tronchi come si evince anche dal censimento dei punti ad elevato rischio del reticolo effettuato nel Piano Comunale di Protezione Civile - Rischio Idrogeologico e Idraulico hanno problemi legati alla mancata manutenzione e/o ad interferenze con la viabilità risolti riducendo la sezione utile dei canali stessi, ipotesi quest'ultima confermata dall'analisi del risultato ottenuto utilizzando come supporto topografico il DTM del MASE così come reso disponibile, con riferimento particolare all'ambito territoriale oggetto della modellazione idraulica, che ha condotto a formulare l'ipotesi di una "mancata presenza", in termini geometrici, delle incisioni dei canali di bonifica specialmente il Canale denominato Regina;
- Pertanto il contributo di materiale solido del Canale Regina nel Porto Grande **risulta trascurabile** (come anche si evince e si afferma nella relazione *"Studio della dinamica della coste" elab. B.3.2* documenti in cui si esamina l'evoluzione della linea di costa a seguito della presenza delle opere a mare progettate.

Ing. Mauro Alaimo